太阳底下的新鲜事

Something New Under the Sun

20世纪人与环境的全球互动

An Environmental History of the Twentieth-Century World

[美] 约翰·R. 麦克尼尔（John R. McNeill）著 李芬芳 译

中信出版集团

太阳底下的新鲜事

[美]约翰·R.麦克尼尔 著
李芬芳 译

中信出版社

目录

版权页

谨将本书再次献给我的妻子茱莉

致中国读者

在地球上的人类中，少有比中国人更能从对环境史的理解中获益的了。我们可以将环境史定义为对人类社会与其所依存的生态系统之间关系的演化的研究，它不仅有其知识旨趣，也具有或者能够具有其实践旨趣和价值。

就环境而言，今日中国乃是世界上最重要的国家。中国领土辽阔，人口众多，经济在快速增长，仍然面临一些可供选择的余地。那些在50年或100年前完成工业化的社会已经致力于昂贵的基础设施和观念的积习，难以做出变革。相比之下，摆在中国面前的仍有许多努力和投入要做。中国对此选择如何应对将是21世纪最重要的环境决策之一。

在19世纪，尤其在20世纪，工业化的欧洲（包括苏联）、北美和日本创建了基于化石燃料的资源密集型的高污染的经济。它们如此而为旨在满足不断增长的人口的物质需要，并让自身在军事上强大起来。它们成功了，却为此付出了高昂的环境代价，不仅在其国内，而且在国外都能感受到。本书将详述这些代价，并试图解释它们为什么会遭受这些代价。

中国像其他国家一样，希望满足其人民的物质需求；像所有大国一样，中国也希望实现军事上的强大。中国能够实现这些目标而不让自己和他国遭受那些沉重的环境代价吗？1850年后，基于煤炭的经济体，如英国和德国，以及后来的苏联和美国，均产生了严重的空气污染，导致了数百万人丧生，并加速了环境变化。所有这些国家都变得依赖化石燃料能源体系，在环境代价变得明显之后仍然难以改弦更张。中国将不得不重蹈覆辙呢还是可以另辟蹊径呢？

目前中国正在经历世界史上最快速规模最大的城市化。在20世纪20年代之后的美国，以及20世纪50年代之后的欧洲和日本，汽车主导了城市生活，城市规划者修建了无数的高速公路、停车场和加油站以满足越来越多的汽车。汽车自有其便利之处，但汽车的泛滥，再加之其他替代性交通方式的损毁，经常损害了城市生活的质量，却造成了城市空气污染的新问题。中国将不得不重蹈覆辙呢还是可以另辟蹊径呢？

中国的巨大优势是可以学习其他国家工业化、快速经济增长和城市化的经验。而在100年前，没有任何人知晓以化石燃料作为能源体系的核心将会付出何种环境代价，尽管今日这些代价是如此一目了然。此前没有任何国家可以想象一个依赖汽车的社会意味着什么，但现在任何人只要一访洛杉矶即可一清二楚。在20世纪50年代，没有任何人理解核废料累积所造成的难题，也没有人明白含氮化肥的无止境使用所造成的生态效应。但是现在我们已经知道，已经掌握了这些知识，如果能从头再来，我们将能做得更好。

相比其他任何大国，中国处于一个塑造21世纪世界环境史的更佳位置。中国在实现其城市化时能够找到一条创造生态可持续的城市而没有致命污染的道路吗？中国在建构其能源体系时能够找到一条避免那些20世纪肆虐工业化社会的环境代价的道路吗？中国能够设法协调其持续的经济增长与地球的健康吗？

答案仍然不确定，迹象也喜忧参半。但是在接下来的二三十年，它们将逐渐清晰。中国如欲对环境问题的解决之道有所贡献，而不是推波助澜，它必然需要新技术和政治技巧。它还将需要关于环境与社会之间的关系，以及这种关系不仅在中国而且在全世界是如何演进的确当知识。

在过去，影响全球环境问题的最重要的决策是在伦敦或华盛顿做出的，而在不远的将来，最具影响性的决策将是在北京做出的。欲出色地完成此使命，中国人需要回顾过去以更好地设想未来。简而言之，相比其他任何民族，中国人是这个星球上最需要了解全球环境史的民族。

约翰·R.麦克尼尔

2017年2月22日

（余一石 译）

推荐序

20世纪初，西方人开始意识到经济活动正在影响我们的环境。鲑鱼再也无法在遭到化学污染的水域中洄游。工业城市周围的空气充斥着化石燃料燃烧后产生的颗粒物，并随风吹送至田野。每年有数千人因烟雾造成的呼吸道问题失去性命。为获取煤炭，大地被开挖得千疮百孔，往昔风景宜人的乡间也点缀着一堆堆的丑陋矿渣。

这场环境浩劫背后的两个源头，连1900年的观察家都能看得出来。首先，过去将近400万年来持续缓慢增加的全球人口，到了18世纪末开始加速增长，而且这股趋势仍无趋缓迹象。其次，自1760年发生工业革命后，无生命能源（inanimate energy）替代有生命能源（animate energy），人类经济活动因此加快脚步。这些现象让古巴的何塞·马蒂（José Martí）、英国的H.G.韦尔斯（H.G.Wells）等知识分子开始怀疑：这种人类活动大规模增加的现象，是否能持续数十年而不造成大自然退化。

倘若这些作家再多活100年，一定会对20世纪加速变化的状况感到讶异。在此期间内全球人口增加4倍，经济规模则扩张14倍，能源用量增加16倍，工业产出则翻了40倍之多。但二氧化碳排放也上升了13倍，水用量增加9倍。这些并非全是坏事。20世纪生产力的提升，的确提高了数亿人的生活水平，让他们脱离先人的赤贫状态。但这一转变过程的规模与强度，同时意味着就环境的观点来看，20世纪历史的确与过去所有时代大不相同。

全球有识之士目前所面临的双重挑战，首先是要了解过去一个世纪以来环境变迁的规模（及诸多后果）；其次则是必须理智地思考，如何在人类不智的集体行为跨越危险门槛之前处理这些问题。作者麦克尼尔教授精辟又准确地检视20世纪，呼吁人类必须先行了解环境变迁并有所回应。本书书名说得相当明白，《圣经·传道书》中“日光之下，并无新事”的说法已不尽然正确。麦克尼尔通过本书第一部的七个章节，说明我们四周的各种“圈”（sphere），包括岩石圈（lithosphere）和土壤圈（pedosphere）、大气圈（atmosphere）、水文圈（hydrosphere）和生物圈（biosphere），在20世纪所受人类影响已远远超越先前历史的总和。

有项数据说明了一切：根据麦克尼尔（粗略）的估计，20世纪这100年人类使用能源的总量，是1900年之前1000年用量加总的10倍。

不过麦克尼尔教授不只是记录环境变迁。他真正感兴趣的，是他口中“地球历史与人类历史”之间的互动。这是为何本书第二部也同样重要，甚至更为重要的原因所在。在这一部分他巧妙地分析了人口增长、迁移、科技变革、工业化、国际政治、观念等各种要素，还有它们在环境政策领域所造成的诸多“反馈回路”（feedback loop）。

麦克尼尔不是卢德运动分子[1]（Luddite），也不是主张“一成不变”的独断环保主义者。但他确实警告我们必须谨慎，并采取行动，以免全球社会以比我们想象中更快的速度，逐渐逼近生态门槛。

《太阳底下的新鲜事》是一本条理清晰且具真知灼见的著作。它所传递的信息有如当头棒喝，不论福斯或政客都应予以关注。

保罗·肯尼迪（Paul Kennedy）

（《大国的兴衰》作者、耶鲁大学教授）

[1]卢德运动分子指1811年到1816年英国工人以破坏机器为手段反对工厂主压迫和剥削的自发工人运动，因为工人们认为纺织机将减少就业机会。一般指涉强烈反对机械化或自动化的人。

作者序

已有的事，后必再有；

已行的事，后必再行。

日光之下，并无新事。

岂有一件事人能指着说这是新的？

哪知，在我们以前的世代，早已有了。

已过的世代，无人记念；

将来的世代，后来的人也不记念。

——《圣经·传道书》第一章第9至11节

《圣经·传道书》的章节多半来自古人的实用智慧。但时至今日，上面这段话已显过时。太阳底下的确存在着新鲜事。与《传道书》完成时的公元前第三或第四世纪一样，现今人类生活中仍充斥着邪恶与徒劳无功，但人类在自然界中的地位已今非昔比。至少从这方面来看，人类必须切记现代还是与过去有所不同。

老鼠、鲨鱼及历史

本书是一部环境变革的历史，也是专为环境变革史所写，讲述的是20世纪全球环境的变迁，以及与人类相关的起因与后果。希望通过接下来的篇幅，说服读者接受下列几个相关论点。第一，无论就环境变迁的强度还是人为因素的集中程度来说，20世纪都超乎寻常。第二，这种生态的独特性，其实是社会、政治、经济与知识的偏好与模式下超乎预期的结果。第三，我们的思想、行为、生产及消费模式乃因应现今环境而

生，也就是为了适应现在的气候与全球生物地球化学（biogeochemistry）、20世纪丰沛的廉价能源与水源、人口快速增长，以及日益快速增长的经济等现象。第四，如果环境产生变迁，表示这些偏好与模式适应性不足。最后一个论点与未来有关，但既然本书以历史为主，在此我就不深入追踪。我还希望借由讨论上述主题说服读者，地球的现代生态史和人类社会经济史必须并列讨论才有意义。

我认为这些论点相当有趣，因为这暗示我们人类这个物种正不知不觉地在进化方面走了一步险棋。就生物进化的长期过程来看，最佳的生存策略就是适应、追求各种维生之道，并使适应力最大化。这是因为对于有些物种而言，不论它们适应特定环境的能力有多强，终究还是会出现一些足以灭种的意外、冲击和重大灾害。如果一个物种能度过足以灭绝其他竞争对手的周期性冲击而生存下来，就等于在进化上大获全胜：因为有充足的开放生态区位（niche）空间供其栖息。对这类优势物种当中的个体来说，能够度过周期性冲击并生存下来，就代表有更多的生存空间（Lebensraum），让它们在空间与时间中散布自己的基因足迹（genetic footprint）。长远来看，人类已凭借其适应力，在生物层面享有极大优势。部分品种的老鼠亦然。

适应力并非在进化上取得优势的唯一策略。另一策略是尽可能去适应现有环境。如果环境稳定的话，这种策略能维持一段时间。考拉只吃桉树叶，熊猫只吃竹子。这两种动物都追求特殊化，只要有充足的桉树与竹子就好。两亿年来鲨鱼面对大型海洋生物的猎捕、杀戮及食用，仍适应得很好，正是因为尽管海洋历经许多重大变化，还是能充足供应鲨鱼所需的食物。

老鼠与鲨鱼的策略，在人类社会中也有（约略）类似的情况。数千年来，文化演进塑造人类事务的程度，更甚于生物演进。就像老鼠和鲨鱼，人类社会也在不经意中追求适应力或高度适应的生存策略。例如在法老时期的埃及、封建时期的欧洲或中国历代皇朝，对当时生态（或其他）环境的细腻适应力，成了稳定（请勿与和平混淆）社会秩序的基础。当环境持续不变，这些社会就能持续繁荣，但从长远的角度来看，却也因为成功而面临更严重的危机。只有在治理条件维持不变的状况下，才能借由不断微调去适应环境（也就是鲨鱼的策略）而维持优势。成功往往容易成为守旧、习以为常与僵化。但这样的策略并不是不好：它还是可以运作数世纪之久。或者说在以往可能持续运作，因为当时人类还缺乏破坏全球生态的能力。

到了20世纪，全球生态日趋不稳并因此越来越适合老鼠生存，因而人类社会常须采用鲨鱼策略。我们在不断变迁的环境中极力适应。大约有1/4的人类，因稳定气候、廉价能源与水源、快速的人口与经济增长等条件，而得以享受完全可预见的生活方式。其余绝大多数的人，则只能向往这样的生活方式。我们的制度与意识形态，也同样建构在相同的前提上。

这些前提并非不堪一击，但也仅止于暂时。自上一次冰河时期结束后，一万年来地球气候一度少有变化；不过现在却正快速变迁。约始于1820年的化石燃料时代，廉价能源为其特色之一。除了少数特例，造福众人的廉价水源主要可回溯至19世纪。从18世纪中叶起人口快速增长，经济快速增长则约始于19世纪70年代。仰赖这些环境条件继续存在，其实是个相当有趣的赌注。在整个20世纪中，有越来越多的人以及越来越多的社会，（在不知不觉中）接受了这场赌注。

这并不是一场愚蠢的赌局。当国家与社会必须在高度竞争的国际体系中寻求自保，当企业在高度竞争的市场中寻求利润与权力，当个体在高度竞争的社会中寻求地位与财富，这场赌局确实相当吸引人。只要眼前的状况持续，持反对意见的人就会失败。所以你不认为这场赌局你会输，除非你眼光够远，或认为现今的环境很快就会改变。而让这场赌局更加有趣的是，现今环境变迁的概率增加，正由于20世纪人类的所作所为。

两种让人类在生态方面获致长期成就的特质，即适应力与聪明的头脑，让人类在近代创建起以化石燃料为根基的文明，而这种文明对生态极具破坏性，不但注定带来意外的结果与冲击，而且它所带动的变迁只有利于适应力强、头脑聪明者。人类在这场变迁中茁壮、繁衍的速度更甚以往。我们创造了一场永无止境的生态知觉障碍机制，有如对其他较弱势物种发动了一场全球性阴谋。但我们其实没有这么聪明。这种永无止境的知觉障碍机制，是人类不知不觉中进行社会进化过程中，数不清的野心行动与各种努力下意外产生的副产品。

在撼动全球生态以利自身繁衍的同时，人类也根据自己创造出来的新环境来建构社会。举例来说，现代美国就是建构在廉价能源的基础上。这个策略其实不差：20世纪大部分时间能源确实相当廉价，而美国就跟其他社会一样完全且成功地适应了这样的环境。但这样的成功也意味着，一旦环境改变，任何调整只会更加艰难。尽管美国在许多方面都称得上是特别有弹性的社会，就生态而言却是一条鲨鱼。许多具有影响

力与权势的美国人已意识到这点，因此着手打造足以维持廉价能源的内政外交政策。看1991年的海湾战争就知道了。

人类的生物优势或许并未面临严重风险。从物种的角度而言，我们比较接近老鼠而非鲨鱼。从另一方面来看，社会秩序才是许多社会的风险所在。只要我们持续造成严重的生态干扰，严重的社会紧张就是我们挥之不去的命运（而这种生态干扰与社会紧张都是现代常见的现象）。就这样，地球的历史与人类的历史紧紧联结，且现今程度尤甚以往，两者缺一均难以理解。

一个历史学家的自白

本书讨论的是人类与环境，而非那些非人为造成或不论起因为何都不可能影响人类事务的生态变化。希望所有想要了解完整的历史背景，以及想从历史脉络来了解环境变迁的人，都会对本书产生兴趣。

所有史学家在写作时都有自己的观点与偏见，而这就是我的观点与偏见，本书是以人类为中心。据说美国幽默作家罗伯特·班奇利（Robert Benchley）曾用鱼的观点，以大西洋鳕鱼业为题写作。英国历史学家阿诺德·汤因比（Arnold Tonybee）出版过《从花的观点看罗马革命》（*The Roman Revolution from the Flora's Point of View*）一书，书中的植物主角还会说话。[1]从旅鼠或青苔的观点来写20世纪的世界环境史，可能会很有趣，但我的想象力不及于此。本书还会略去许多生态变迁，纯粹因为它们与人类历史关联不大。

历史学家主要是对变迁感兴趣。本书将聚焦于出现大规模变迁的时间与空间，省略掉许多持续发生的案例。一望无际的南极冰层、毛里塔尼亚沙漠、加拿大冻原、太平洋深不见底的水域，百年来其实并无太大改变。我对这些案例着墨不多，而会多讨论印度尼西亚的森林与伦敦的空气质量。这意味着我在环境变迁案例的选择上有很严重的偏颇。研究工业革命或班图人大迁徙的历史学家亦是如此：变迁通常要比长期现象更加吸引人。

现代有关环境的著作，通常会以好坏来评价变迁，却鲜少透露评断的标准。在许多案例中，我将避免以此方式评断，因为环境变迁往往有

利于某些人却对其他人有害，对有些物种有益却对其他物种有害。我将尽可能解释某种发展对哪些人（或事物）有害，又对哪些人（或事物）有益。如果它终究不利于所有生命形态，我将放弃所有努力，以超凡的客观态度将之定义为退化、掠夺、毁灭之类的行为。澳大利亚墨累——达令盆地（Murray-Darling basin）的盐化就是一种退化。读者可以自行思考，美国森林遭到砍伐的现象是好是坏？也希望读者能思考：这好坏又是针对谁的标准而定？

这个问题的答案很复杂，取决于以谁的利益为主（巴西农场主人、农民、橡胶采集工、美国印第安人等）、如何评价砍伐森林在全球大气变迁中的角色，还有对全球变暖前景的看法、对亚马孙地区生命形态逐渐灭绝的重视程度、它们的基因信息及其在周遭生态圈中所扮演的角色。还得看牵涉到多少亚马孙区域、森林砍伐的速度，以及土地使用模式与相关生态系统。这些都是决定答案的因素，而且还不止于此。在这样复杂的状况下，我将尝试勾勒出环境变迁的冲击，但也让读者自行判断到底是好是坏，是进步抑或退化。对那些不喜欢把问题复杂化、偏好简单道德标准的人而言，本书是令人失望的；对那些喜欢用金钱这种简单量化方式的人而言，本书是令人失望的；对那些不喜欢独立思考的人，本书特别令人感到失望。希望经过这番筛选，还会有许多读者愿意继续读下去。

[1]Toynbee 1965,2：585–99.

致谢

若非各方鼎力相助，这本书可能要在进入21世纪之后许久才能完成，内容的分量与深度也会不如现在的水平。我在乔治敦大学历史系的几位同事，1998年夏天花了大半时间评论我的原稿（多数人都有看完）：托马索·阿斯塔里塔（Tommaso Astarita）、卡罗尔·本尼迪克特（Carol Benedict）、埃梅特·柯伦（Emmett Curran）、凯瑟琳·叶夫图霍夫（Catherine Evtuhov）、艾利森·盖姆斯（Alison Games）、戴维·戈德弗兰克（David Goldfrank）、安杰伊·卡明斯基（Andrzej Kaminski）、戴维·佩因特（David Painter）、阿维尔·罗施瓦尔德（Aviel Roshwald）、杰克·鲁迪（Jack Ruedy）、乔丹·桑德（Jordan Sand）、吉姆·谢德尔（Jim Shedel）、朱迪丝·塔克（Judith Tucker）、约翰·图蒂诺（John Tutino）。他们的专业让我免于频频出错的窘境。乔治敦大学其他几位阅读了部分手稿的同事，也给予了同样的协助：化学系的贾尼丝·希克斯（Janice Hicks）；生物系的马莎·魏斯（Martha Weiss）；国际事务学院的蒂姆·比奇（Tim Beach）、默里·费什巴赫（Murray Feshbach）与理乍得·马修（Richard Matthew），以及政府学系的史蒂夫·金恩（Steve King）。任教大学部的同事都愿意慷慨分担我所交付的重担，令我感到十分幸运。

有几位在1998年到1999年由我授业的学生，也欣然阅读了部分原稿，并针对如何改善内容提出意见：丹·布兰德托（Dan Brendtro）、埃里克·克里斯汀森（Eric Christenson）、朱莉·克里维（Julie Creevy）、布雷特·爱德华兹（Brett Edwards）、凯蒂·芬利（Katie Finley）、贾斯廷·奥斯特（Justin Oster）及吉尔·沃尔（Jill Wohrle）。20世纪90年代初期一班顶尖优秀学生的热情参与，让我接触到全球环境史：肖恩·卡普顿（Sean Captain）、布拉德·克拉布布特里（Brad Crabtree）、南希·戈卢比斯基（Nancy Golubiewski）、埃琳娜·加曼迪亚（Elena Garmendia）与泰里·威拉德（Terri Willard）。这几年他们不断询问、关心本书的写作进度，因而鞭策了我。其他读过全文或部分内容并协助修正的亲友与（各领域的）同事包括彼得·坎贝尔（Peter Campbell）、比尔·克洛南（Bill Cronon）、丽贝卡·戴维斯（Rebekah Davis）、唐·休斯（Don Hughes）、约翰·凯尔麦里斯（John Kelmelis）、格雷格·马吉欧

（Greg Maggio）、鲍勃·马克斯（Bob Marks）、伊丽莎白·麦克尼尔（Elizabeth McNeill）、威廉·麦克尼尔（William McNeill）与肯特·雷德福（Kent Redford）。同时还感谢艾利森·凡·基奥奈特（Alison Van Koughnett）与乔治·弗尔提斯（George Vrtis）的协助，为我送上许多相当有用的研究资料。

我能够花上两年全职撰写此书，要感谢几家机构的鼎力支持。富布赖特计划（Fulbright）让我能到新西兰奥塔哥大学（University of Otago）历史系宜人的环境中工作六个月。我要感谢罗布·拉贝尔（Rob Rabel）与埃里克·奥尔森（Erik Olsen）的安排，让我在这亚南极地区滨海度假胜地停留期间一切顺利，而我也在这一期间开始认真思考写作本书。威尔逊国际学者中心（Woodrow Wilson International Center for Scholars）在1996年到1997年提供我研究学人奖学金，那里的知识环境也提供了极大的支持，特别是在午餐时段。那一年有许多研究员对我的作品帮助良多，尤其是泰玛·卡普兰（Temma Kaplan）与沃尔夫·费舍尔（Wolf Fischer）。威尔逊中心的研究助理也让我的工作进度更快：克里斯琴·坎维舍尔（Christian Kannwischer）、彼得·考克西斯（Peter Kocsis）、安格利吉·帕潘托尼欧（Angeliki Papantoniou）及白新田（Toshuko Shironitta）。1997年到1998年古根海姆基金会（Guggenheim Foundation）提供研究学人奖学金，让我能够窝在自家阁楼中完成本书第一份初稿。还有乔治敦大学准我请假两年，并在这几年间额外提供研究方面的支持。

我在针对本书议题发表看法时，多次得到耐心听众提出相当有用的提问或评语，包括新西兰的奥塔哥大学、梅西大学（Massey University）与坎特伯雷大学（University of Canterbury）的听众；威斯康星大学、卡内基梅隆大学与阿姆斯特丹大学的听众；以及美国环境保护署（United States Environmental Protection Agency）的未来小组（Futures Group）。

我受诺顿出版社全球世纪系列（Norton’s Global Century series）主编保罗·肯尼迪（Paul Kennedy）所托撰写此书。我要感谢他从一开始就对我深具信心，并在其后保持耐心。我还要感谢诺顿出版社的史蒂夫·福尔曼（Steve Forman），他让本书字数不至于膨胀至最终版本的两倍，而他针对文字所做的修改常令我无地自容，同时也不忘持续为我打气。我还要感谢苏珊·米德尔顿（Susan Middleton），以无私不懈的态度让本书文字更加一致且精准。

在茱莉·比林斯利（Julie Billingsley）长期努力的奉献下，我才得以完成这本书。这么多年来，她对我的支持实在不可估量。

序曲 一个挥霍世纪的怪象

人对过去无知的坏处在于无法看清现状。

——G.K.切斯特顿（G.K.Chesterton，1933年）

环境变迁的历史和地球一样悠久，约有40亿年。人类在约400万年前出现后，便不断改变着地球环境。不过情况却从未像20世纪这般严重。

小行星和火山等天文与地质因素所产生的环境变迁，或许比我们有生之年眼见的更为严重。但人类所造成的环境变迁并非如此。我们改变生态系统的程度、规模与速度均为人类史上首见。这也是地球有史以来，少数几次历经如此大范围与快速的变迁。爱因斯坦曾说过“上帝不掷骰子”的名言。[1]但在20世纪，人类已经开始拿地球的未来掷骰子，而且对游戏规则全然无知。

原本无意造成此等祸害的人类，已对地球展开一场失控的大型实验，而我认为这终究会成为20世纪历史最重要的方面，重要性甚至超越第二次世界大战、共产主义运动、识字率上升、民主运动或女性解放运动。为了解20世纪到底有多么挥霍又奇特，就必须深入回顾历史。

在环境史中，20世纪堪称环境史上相当奇特的100年，这是因为有许多足以造成生态变迁的现象，以惊人的速度出现。这些现象大多并非首次出现：长久以来人类早已开始砍伐树木、开采矿石、制造废弃物、种植作物及猎捕动物。到了现代，我们从事这些活动的频率更甚以往，1945年后情况更是严重。尽管少数几种环境变迁直到20世纪才首次出现（例如人为造成臭氧层逐渐稀薄），20世纪的生态独特性主要仍在于规模与强度。

数量上的差异，有时可能成为质量上的差异。20世纪的环境变迁亦然。变迁的规模与强度之大，让许多在过去千年仅限于地方性的问题，成了全球共同关注的焦点。空气污染即为一例。自50万年前人类知道使用火之后，就造成区域性的污染问题。罗马时期地中海人提炼铅，甚至

造成北极地区污染。在这之后，空气污染问题扩大到足以影响全球大气化学的根基（请见第2章）。因此，规模的改变足以导致条件的改变。

除此之外，不论是大自然体系或人类事务，都有临界点与所谓的非线性效应（nonlinear effects）。20世纪30年代，希特勒德国占领奥地利、苏台德地区（Sudetenland）及捷克斯洛伐克境内其他地区，当时并未激起太多反应。1939年9月希特勒试图将波兰纳入版图，却陷入一场长达6年的战争，让希特勒本人、他所发起的运动还有德国都因此（暂时地）毁灭。虽然他知道其中的风险，却不自觉地跨越了临界点并激起非线性效应。同样地，热带地区大西洋水温越来越高，可能尚未造成任何飓风。不过水温一旦超过26℃便会启动飓风：只要逐渐递增就会越过临界点，启动开关。20世纪环境史和过往的差异，不仅因为生态变迁来得更大更快，也因为强度大增，启动了某些开关。例如，捕鱼活动的递增会造成某些海洋渔业全面崩解。强度逐渐增加，便可能启动某些重要开关，让地球产生重大的基本变化。在事情开始爆发之前，没有人知道会发生什么事。

本章将就长期观点检视人类行为改变环境的历史。主要因为信息取得的状况有所差异，长期的定义也视个案而有所不同。书中内容讨论的行为与过程，有的很容易测量，有的则并非如此。资料的正确度也有待商榷。尽管有这些问题，我们还是可以大略评断20世纪的情况有多奇特，还有究竟在哪些方面迥异于过去的模式。

公元1500年之后的经济增长

足以改变环境的人类行为，均可称为经济活动。经济学家习惯以市场中商品与服务的总值或正式记录来测量经济规模。加总之后得出的数字就是国内生产总值（GDP）。这个程序极度不完美，尤其是大量生产（以及服务）发生在市场之外的时候。经济历史学家深知这种测量方法的缺陷，且已着手尝试对应调整相关数据。

500年前全球GDP（换算为20世纪90年代美元币值）总计约为2400亿美元，略高于波兰或巴基斯坦今日GDP，并略低于土耳其。[2]直到公元1500年，全球经济一直都以缓慢速度增长，以今日标准来看生产技术的进步也相当缓慢。公元1500年后，先进科技应用在美洲及其他地区，

海上货运大行其道，国际贸易活络。到了1820年，全球GDP已达6950亿美元（超过1990年加拿大或西班牙的数据，但低于巴西）。工业革命、运输方式不断进步，再加上不断开发边境，都带动了1820年后经济快速增长，以至于1900年全球GDP高达1.98万亿美元（低于1990年日本的GDP）。1870年到1913年，确实是全球经济史上增长迅勐的时期之一，不但比过去任何时期都快，其后也少有时期能够超越。经过30年的发展压抑期（1914年至1945年），全球经济再度起飞，到1950年全球GDP达5.37万亿美元（相当于1991年美国经济规模）。随着国际贸易更加开放，接下来全球经济进入长期经济繁荣期，科技快速发展，人口也迅速增长。到了1992年，全球GDP约28万亿美元。这段人类经济史上堪称奇迹的时期，它的诞生、动荡、形成与压抑，都浓缩在表A.1的指数与增长率数据中。

表A.1 1500—1992年全球GDP变化

年份	全球 GDP[a]
1500	100
1820	290
1870	470
1900	823
1913	1136
1929	1540
1950	2238
1973	6693
1992	11664

数据来源：Maddison 1995：19,227

注a：上述GDP数据均为相对于公元1500年之指数。

20世纪末的全球经济规模，大约是1500年的120倍以上。增长期主要集中在1820年后。最快速的经济增长出现在1950年到1973年，“二战”后的经济增长速度，可谓人类史上前所未见。[3]

经济扩张主要由人口增长所带动，其他则归功于科技与组织（或许还要加上勤奋工作）提升了生产力。人均数据（表A.2）显示，公元1500年以来全球经济虽然增长120倍，但个人平均收入却只增加了9倍。[4]当然这只是全球平均值，看不出各地区、国家与个人之间的极大差异。

表A.2 1500年以来的全球人均GDP

年份	全球人均 GDP（以 1900 年美元计算）	指数（1500 年为 100）
1500	656	100
1820	651	117
1900	1263	224
1950	2138	378
1992	5145	942

续表

数据来源：摘自Maddison 1995：228

平均来说，我们的人均收入是公元1500年祖先们的9倍，1900年的4

倍。尽管收入增长分配极度不均，现今莫桑比克人民收入仍远不及1500年全球平均值的一半，但是过去500年，特别是20世纪，仍可算得上是人类的一大成就。这样的成就自然有其代价。社会所付出的代价何其之大，人们遭到奴役、剥削或杀害，以“创造式破坏”（creative destruction）[5]为经济增长铺路。环境也付出了极大代价。过去30年来历史学家已注意到经济增长与现代化所造成的社会代价，而环境的代价其实同样需要关注。

公元前一万年之后的人口增长

人口比经济活动更容易测量，因此尽管1900年前的估计数据必须小心处理，但以下的重建数据应比前面的经济增长数字更为可靠。

人类首次发明农业（约为公元前8000年）之时，全球人口大概在200万～2000万之间。[6]人口的数量甚至比有些灵长类还少，例如狒狒。但有了农业后，人类数量首次大幅跃升。人口增长可能比过去快了10～1000倍，但每年远低于1%，仍是十分缓慢。到了公元元年，全球供养了2亿～3亿人口（约相当于今日印度尼西亚或美国人口）。到了1500年，全球人口已达4～5亿。全球人口历经大约1500年才增加一倍，年增长率远不及0.1%。公元1500年之后，全球人口持续缓慢增长，约在1730年达到7亿人。此时增长速度才开始上扬，打开了一段至今仍持续进行的人口增长高峰期。[7]到1820年人口达到10亿左右。自此人类在生物方面取得惊人优势，从表A.3的数据可见一斑。

表A.3 1820年以后的全球人口

年份	人口（单位：10亿）	年增长率（%）
1820	1	—
1850	1.2	0.5（1820—1849）
1900	1.6	0.6（1850—1899）
1950	2.5	0.8（1900—1949）
1990	5.3	1.8（1950—1989）
2000	6.0	1.5（1990—1999）

数据来源：Cohen 1995：79 and app.2

18世纪之后，人口增长的速度与先前相比可谓极速。1950年以来，人口增加的速度大约是农业发明之前的一万倍，以及农业发明之后的50倍到100倍。如果农业发明后人口便持续以20世纪的人口增长率增加，地球会被满满的人类覆盖，直径高达数千光年，并以光速倍数的径向速度向外扩散。[8]20世纪这种增长速度明显不会维持太久。我们处于人口史上第二次大暴增的最后阶段。20世纪全球人口史的独特性不仅是对过去而言，也相应于未来。

观察现代历史上独特人口特性的另一种方式，就是计算有多少人曾经活着，以及（根据平均寿命预估值）他们曾经活过多少年。这样的预估当然需要特别小心。有些欧洲人口历史学家已大胆假设并据此估算。[9]他们认为过去400万年来约有800亿人出生，这800亿人一共活了2.16万亿年。令人吃惊的部分来了：这2.16万亿年中，有28%出现在1750年之后，20%在1900年后，13%在1950年后。虽然20世纪仅占人类历史的0.00025%（400万年中的100年），在人类活过的所有年份中却占了大约1/5。

如同长期经济增长，人口史也代表着人类物种的胜利。这当然也要付出代价。无论如何这是一项惊人的发展，完全脱离过去的模式，我们总是将现有经验视为理所当然，认为现代人口的增长率是很自然的。任

何持续时间超过人类一生寿命的特殊事件，都很容易遭到误解。

经济增长与人口增长的长期进程，在过去千年来紧紧相随，直到1820年左右才开始明显分流，由于经济增长大幅凌驾于人口增长，因此造成人均收入上扬。其背后原因包括新科技，还有带动人类增加能源利用的经济组织系统。

公元一万年之后的能源史

在工业革命开始前，我们利用的是自己的体力与部分驯养家畜的肌力、风力与水力（但效率不高），以及木材与其他生物量（biomass）中储存的化学能（利用其热能而非电力）。工业革命改变了一切，因为它带来了能将数亿年来地表所累积的生物量储量，亦即化石燃料，转化为机械力的发动机。

物理学家同意宇宙中能量守恒的理论。地球上的能量呈现大致平衡的状态：来自太阳的辐射能，相当于消散到太空中的热能。我们可以创造能量，也能毁灭能量。但我们大多只会提到能量的产生或消耗。“能量”一词并不精确，是一种很难测量的东西。以下重建数据的目的是要准确呈现能量的意义，但它在数量上的要素，也像上述经济增长数据一样必须小心处理。

由于来自太阳的核聚变反应，所有能源终究都属于核能。[10]地球上的核能有好几种形式，对人类较重要的包括机械能（或动能）、化学能、热能与辐射能。我们的问题在于，如何针对我们想做的所有事情，在适当的地点与时间取得有用的能源。我们通过转换器达到此一目的，将某种能源转换为另一种形式，使其易于储存、运送或运用在工作上。许多经济运作都得利用好几种转换工具。每一次转换都牵涉到某种实用面的损失，因为有部分事先转换的能源浪费掉或变成无用的形式，因而无法保留。因此转换器有所谓的效率评价（efficiency ratings）。举例来说，人类的效率约为18%：即每吃下100卡路里的食物（化学能），只有18卡路里会转换为机械能，剩下的都因一些实用目的（主要为热能）而消失。而马的效率更只有10%。

在工业革命前，唯一重要的转换就是生物转换。[11]人类社会最早只

知道利用肌力，源于储存在植物与动物肉类中的化学能量。后来有了少数几种工具辅助，使肌力的运用更有效率。火的使用自然对取得热能大有帮助，而且在烹饪发明之后，一些原本不可食用的能量也变得可以食用。但直到约一万年前，我们的祖先仍依赖自身的机械能［或可称之为“体内能机制”（somatic energy regime）］。

农业让人类更能控制我们称之为粮食作物的植物转换。和狩猎或采集相比，移动农业（shifting agriculture）让能源的可用性增加了可能有10倍之多，定居农业（settled agriculture）又增加了10倍，造成更高的人口密度。接下来，随着大型动物被驯化，人类需要更多的肌力、更多的机械力，且其形式更为集中。用牛来拖曳、以马或骆驼来运输，都是相当重大的进步。牛可以在难耕的土地上耕田，在粮食方面开拓新的可能性，进而将更多的人与牛导入一个能够延伸并强化体内能机制的正回馈循环（positive energy regime）。未能驯化大型动物的社会，在劳动方面处于不利地位。在随后的1000年里，新作物、轮子及马项圈改善了人类社会的能源效率，但即使在工业革命初期的欧洲（约为公元1800年），人们所使用的机械能中仍有超过七成由人类的肌力供应。[12]可耕地与种植作物所需的水源不足，仍从根本上限制了能源的发展。

农业与动物的驯养确实造成能源过剩。控制过剩能源，任意加以应用，并享受其回报，这构成了政治的精髓，也就是掌控了体内能机制。如应用得当，例如在战争或灌溉上，能源过剩可能有提高报酬率的意外收获，让人致富或大权在握，埃及法老即为一例。将化学能转换为机械能时，由于人比马更有效率，与牛相比更高，因此大型驯养动物在工业化之前可谓奢侈品。奴隶制度是最有效率的手段，有野心并大权在握的人可借此变得更为有钱有权。这也是解决能源短缺的答案。奴隶制度在体内能机制下相当普遍，尤其在缺少役用动物的社会当中。除了汇集人力，他们没有实际可用的其他选择来集中能源。

体内能机制有一个有趣的特点，在于能成功地储存能源。以热或光甚至电的形式存在的能源很难储存。即使是20世纪末的新技术，仍难以储存风力和直接太阳能（direct solar energy）。植物形式的化学能也很难储存，即使在有利的条件与适当的技术下，某些作物能储存长达数年（不过仍会造成大量耗损）。

在前工业化的社会中，气候与害虫变化难以预测，使得每季、每年的食物供给量都大不相同。这造成了整体社会问题，而对于统治者而言，问题在于能源供给波动的状况随着时间越来越无法控制和预测。对

于统治者来说，人口与牲口数量就等于能源储量，是社会能源体系中的一个调速轮（flywheel）。不论主要的能源来源，亦即作物，数量丰盛或稀少，都可以派上用场。时机好时可累积储量，时机不好就降低，不论什么时代，统治者都会为了经营而干预人口与牲口。

对于一般人来说，牲畜也有同样的功用。它们储存了能源，因此尽管主食供应量免不了时高时低，必要时牲畜可供人类利用，使能源流动更为平均。这也为每个家庭的能源体系提供了一个调速轮，大小则与家庭拥有的动物数量（必要时可以购买方式取得）成比例。

体内能机制有相当严格的限制。如果突然使力，人体可以使出1000瓦的力量。[13]针对挖掘壕沟、建筑水坝或打斗等任务，过去任何一个社会所能奉献的只有数十万瓦（以人力及动物为主要的机械能来源）。中国明朝皇帝及埃及法老所能支配的力量，并不比现代一名推土机驾驶员或指挥坦克的军官更高。过去人类积极追求领土扩张，因为这可能增加统治者的整体能源供给量，但通常很难为了工程或战争而聚集数千人以上的人力，因此统治者在单一任务上所能支配的能源总量还是无法提升。

工业革命起先提升了人类肌力，后来很快便超越了它。这股风潮所到之处，莫不终结了体内能机制，取而代之的是一套更为复杂的安排。这套安排或可称为“体外能机制”（exosomatic energy regime），但最好还是称之为化石燃料时代：从1800年至今，人类使用的能源绝大多数来自化石燃料。

从古代开始，尤其是在波斯、中国与欧洲，风帆、风车和水车稍微增加了农业社会的体内能供给量。[14]接下来好几个世纪仍不断进展。但在18世纪，蒸汽机开发了数亿年光合作用的价值，借由燃烧煤炭将化学能转换为机械能。人类发现煤炭用途已有数百年，主要作为热能燃料。但蒸汽机能将热转换为机械能，也因此增加了更多新的可能用途。

早期蒸汽机的效率是出了名的低下，制造出的动力中有99%会流失。不过随着技术逐渐进步，到1800年效率约为5%，一台蒸汽机能产生20千瓦动力，相当于200名人力。到了1900年，工程师们已经知道如何控制高压蒸汽，蒸汽机所能产生的动力变成1800年的30倍。除此之外，蒸汽机不像水车或风车那样受限于一地，甚至可以放置在船上或火车头。这产生了另一个正回馈循环，因为可借此运送大量煤炭，将这种燃料提供给更多的蒸汽机。19世纪工业化便是仰赖这一点。1800年全球

煤炭产量约为1000万吨，到1900年则暴增100倍。[15]

到了1900年开始出现另一项重大偏离：使用精炼油的内燃机。苏格兰人詹姆斯·扬（James Young）在19世纪50年代想出如何精炼原油的方法，美国人埃德温·德雷克（Edwin Drake）则在1859年证明，开钻进入深层岩石可开采出石油。尽管当时规模不大，但石油时代就此展开。由于德国在1880年后开发出内燃机，更进一步带动了这股转变。内燃机比烧煤炭的蒸汽机更轻，效率也远超过蒸汽机，特别是就小型机种而言。大型机种所能产生的动力也远超过蒸汽机。要供电就必须有大量电力，而汽车也需要轻型有效率的发动机。

因此自1900年以降，生物量、煤炭与石油提供了大量的能源。自19世纪90年代以降，即使世上大部分人口并未直接使用化石燃料，从有用能源的角度来看，化石燃料仍使生物量相形失色。这三种燃料的生产与使用在20世纪持续增长，不过因为石油增长速度大幅领先，按比例来看另两种其实算是增长下滑。表A.4与表A.5列出了一些全球燃料生产及其产生之有用能源的估计数据。石油燃料不只大幅取代了生物量在20世纪能源组合中的地位[16]，而且整体的能源产量也随之暴增。全球电气化始于1890年且至今仍在进行中，刺激了能源的需求及使用。电动马达更有弹性，用途简直数不清。电力还能提供光与热。列宁甚至有句名言，“共产主义就是苏维埃政权加全国电气化”，此外美国小罗斯福总统任内主要政绩之一，就是乡村电气化。

表A.4 全球燃料产量（1800—1990年）

燃料种类	产量（百万吨）		
	1800	1900	1990
生质燃料	1000	1400	1800
煤炭	10	1000	5000
石油	0	20	3000

数据来源：摘自Smil 1994：187

注：这些数据无法反映这些燃料的能量产量：1吨石油的能量为1吨木柴的5倍，与煤炭相比则可能为2倍。

表A.5 全球能源用量（1800—1990年）

	1800	1900	1990
总量（单位：百万吨油当量）	250	800	10000
指数（1900 年为 100）	31	100	1250

数据来源：摘自Smil 1994：187

在蒸汽与煤炭的影响下，19世纪的全球能源产量增加了大约5倍，但到了20世纪，因为石油、天然气（1950年以后）及核能[17]（重要性较低）又增加了16倍。人类历史上没有任何一个世纪，就算是以每1000年的角度来看，在能源使用的增长上超越20世纪。自1900年以来所使用的能源，总量可能超过之前人类史上所有总和。我大略计算后发现，20世纪全球所使用的能源，是1900年之前1000年间的10倍。农业出现初期直到1900年之间的100个世纪，人类使用的总能源只有20世纪用量的大约三分之二。

这种令人讶异的挥霍行为，同样也算得上是人类物种的一种胜利，从无尽的体能劳动这种苦差事中解脱，并在肌力所能及的范围之外打开许多新的可能性。即使以人均的角度来看，能源使用的增长同样可观，在20世纪中增长了4～5倍。在20世纪90年代，全球每人每年平均使用大约“20名能源奴隶”，意思是相当于20个人365天、24小时持续工作。在体内能机制的限制下，最近两个世纪的经济增长以及人口增长，原本都是不可能发生的。[18]

这种能源使用增加的现象必须付出代价。我在此提出两种方面。其一，燃烧石油燃料会造成污染。生物量也会造成污染，且一向如此。但因为化石燃料应用的方式较多，其开发意味着燃烧总量也会远远超出许多，污染也远超出许多。第2章及第3章将会提到这一点。其二，石油燃料已在全球不同地区大幅增加财富与权力分配不均的状况。必要的科技与相关社会政治结构起于欧洲及北美，且发展得最为完备。直到1950年左右，世上其他地区仍以生物量作为热源的主要来源，机械能则仍仰赖

肌力。最穷的一些国家至今仍是如此。20世纪90年代，美国人平均的能源用量为孟加拉国人的50～100倍，相当于75个以上的奴隶所能产出的能量，而孟加拉国人只相当于不到一人。从现代史中很明显可以看出，能够掌控化石燃料，对于在国际上扩大财富与权力来说扮演了重要（虽非唯一）的角色。如果你认为部分人生活舒适总好过所有人为贫穷所困，那么这就是好事一桩，但若你主张平等，那就不会这么认为了。不论如何，能源使用不平等的状况在20世纪60年代达到高峰。自此之后情况有所转变，全球各地都开始广为使用能源。

全球化石燃料的枯竭并非迫在眉睫。从19世纪60年代就有预测能源匮乏而失败的例子。的确，20世纪煤炭、石油与天然气已证实储量增长似乎超过产量。现有的预测数据（未来势必会有修正）显示，石油或天然气还有数十年才会用罄，煤炭则还可用上好几百年。我们还有一段时间，可以继续依赖这历经长时间才累积而成的地质资源，如果我们能好好管理或承受化石燃料所造成的污染。

结论

人类已打破旧有经济、人口及能源机制的限制与大致稳定的状态，这是我们这个时代之所以特别的原因。在19世纪，全球开始进入长期经济繁荣期，到20世纪更攀上高峰，全球经济增长了14倍。以人均而言增长不到4倍，因为在这个世纪全球人口增加了4倍。能源的使用打开了一段经济繁荣期，一开始就在19世纪达到5倍增长。这一增长在20世纪达到高峰（截至今日为止），经济进一步扩张了16倍之多。

这一切何以发生？主要的原因在于人类的创造力，另一部分则出于运气。首先是运气：在18世纪，大部分足以抑制人口及人类生产力的疾病都已遭到消灭。起初这与医药或公共卫生措施并无太大关联，而是反映出人类宿主与部分病原体及寄生虫之间逐渐调适。我们无意间驯化或边缘化部分足以致命的疾病。这个现象纯属运气。小冰河期（约略出现于1550年至1850年）结束，而这可能也是造成现代经济大扩张的原因之一。

现代的爆炸性增长多数起于人类的创造力。自18世纪60年代后，我们持续发明各种新科技，取得各种新形态能源并提升劳动生产力，同时

也设计出新形态的社会与商业组织，激化经济活动的速度。机械与组织，亦即硬件与软件，都是现代各项突破背后的推手。

现代的经济大扩张，从基本面来说虽带来解放，但也造成内部崩解。人口、产量与能源使用量的暴增，对不同的地区、国家、阶级与社会团体造成了相当不平均的影响，使某些人受惠但也有人受到伤害。不平等的情况益发扩大，更令人痛苦的是财富与贫穷经常重新洗牌。无论从知识或政治等各方面来看，适应这个快速变化的世界与移转的地位，都是相当困难的。世界充斥着各种骚动。1950年以后偏好的政策解决方案，不过是更快速的经济增长与提升生活水平。如果我们都能消费得比以前更多，且预期未来也能消费更多，就比较容易接受眼前这种因为不断变化与不平等而产生的焦虑感。确实，我们根据持续增长的原则树立了新的政治形态、新的意识形态及新的体制。如果这样的大好局面结束，甚至只是逐渐式微，我们都将面临另一波痛苦的调适。

如果将长期以来人类使用淡水、木材、矿藏的历史或工业产出制成图表，20世纪同样相当特出。这些全都在1900年之后兴起。固态废弃物及空气、水源污染的产生亦然。数不清的指标及其背后原因也都显示，环境变迁的故事也同样特异。接下来的篇幅里我们将探讨这些故事，但不从长期的观点来看，而是就挥霍的20世纪本身谈起。

[1]Frank,1947.

[2]根据1990年吉尔里-哈米斯元（Geary-Khamis dollar）计算。该估计值来自Maddison 1995：19。

[3]此前较为著名的经济扩张，推测与最后冰川消退、农业的发明与普及，还有古代帝国庇护下大型贸易网络的形成有关。但以1820年后的标准来看，这些经济扩张都相当缓慢且温和。

[4]如果1500年以来全球GDP增长120倍，而人均GDP增长9倍，则人口增长13倍且为1500年以降经济增长的主要动力。

[5]这是约瑟夫·熊彼得（Joseph Schumpeter）用来形容资本主义一个相当著名的说法，但这也同样适用于出现在20世纪的社会主义经济体。

[6]Cohen 1955：77.

[7]18世纪增长率提高的原因不明，但可能与某些致命疾病的消失，还有卫生条件、公共卫生与饮食的改善都有关系。最新的实用相关研究请见Livi-Bacci 1992。

[8]这个有趣的说法摘自Cipolla 1978：89。

[9]Biraben 1979：16；Bourgeois-Pichat 1988。同时请见Livi-Bacci 1992：32–3。Westing 1981估计总共有500亿人诞生过，Keyfitz 1996估计为690亿，而Haub 1995则估计为1050亿。部分差别源于起算点的不同，例如Westing就从30万年前开始，而Keyfitz为100万年。

[10]这种说法忽略了让地球维持轨道运行并与太阳保持适当距离的重力能（gravitational energy），以及地心那股能够带动火山活动的核能分裂。

[11]这段简史取自Cipolla 1978：35–69、Debeir et al.1986及Smil 1994。

[12]Smil 1994：226。Cipolla 1978：53估计植物、动物与人类能源加总占80%～85%，其中差异源于风力与水力发电。

[13]瓦指某段时间内能量的使用率。每秒1焦耳（能量的基本单位）等于1瓦。

[14]Sϕrensen 1995：392–404提到全球发展风力的历史。

[15]Smil 1994：186。Cipolla 1978：56推估1800年为1500万吨，1900年为7.01亿吨。

[16]1994年全球商用能源组合为40%石油、27%煤炭、23%天然气、7%核能与3%水力。地热、风力、太阳能和其他种类的能源加起来不到1%（WRI　1996：276–7）。加上生物量几乎不会对以上数据造成任何影响：20世纪90年代商用能源所产生的有用能源，约为生物量的25倍。

[17]这意味着自从1800年以来，能源使用的总量已增长80倍。Starr　1996：244曾提出类似数据，认为1850年以来增长了50倍。Levi-Bacci 1992：28的看法也与Smil一致。

[18]理论上，现代农业可谨慎通过技术获得较高产量，而不必像现有传统做法消耗大量能源。但实际上它们都相当重要，因此我们可以说，若不是大量使用化石燃料，人类便不可能达成这样的人口增长量。

第一部 星球运行的律动

公元前6世纪希腊哲学家毕达哥拉斯的信徒认为，地球位于宇宙中十个标准球体的中心，而且这些星球随着一种人耳无法察觉的和谐旋律运行。数百万年来，地球上的土地、空气、水和生物都在复杂、不断进化的和谐状态下运作，偶尔因小行星撞击地球而中断。人类行为给这种和谐的状态带来了新的声音，起初还算轻柔且能与其他事物兼容。最后，这声音却开始与星球运行的律动产生冲突。

在20世纪，人类重新排列了原子，改变了大气圈的化学作用。我们所造成的影响，不论从最小或最大的事物都能感受得到。本书第一部讲的是1900年后我们所造成的环境变迁，包括组成地表的岩石与土壤（岩石圈与土壤圈）；占地表大部分的水域——包括咸水与淡水以及深水下方（水文圈）；大气与低海拔空间（大气圈）；以及所有生物族群（生物圈）。

这样的组织结构，隐藏了各圈之间紧密的关联性。就好比历史是一张无缝的网，在生态中所有事物均与其他事物有关。从地表下方挖出的煤炭，燃烧后会释放气体与灰烬到大气圈中。雨水会冲刷掉部分空气中的污染，流入水中。水中的污染物最终会停留在河流、湖泊或海洋的底部，成为沉淀物的一部分，并因此回归岩石圈。地球有一套复杂的生物化学机制，其中所有元素（以碳、硫、氮为主，但也包括其他许多元素）都在各圈之间不断循环。我的组织架构可能会让人忽略这些循环。但经由分拆方式来追溯地球生物化学机制循环状态变迁的历史，则会掩盖污染物在地中海里或大坂空气中所累积的影响。对于大部分的文化而言，所谓世界就是土地、空气、水和生物，而非碳与硫，因此我将比照这种方式进行探讨。要撰写生态的历史，就必须打破它那张无缝的网。[1]

[1]Turner nt al 1990：393–466中有写得极为巧妙的生物地球化学史。

第1章 岩石圈与土壤圈：地壳

土地并不是什么都能种。

——维吉尔（Virgil），《农事诗》（*Georgics*）

到了20世纪，人类已有能力移山，并首度成为重要的地质行为者（geological agent）。人类最重大的影响发生在土壤里：我们同时破坏且丰饶了这农耕的基础，有些地方已成为不毛之地，有些土地则不但可种出各种不同作物，甚至可以说什么都种得出来。

本章将探讨岩石圈与土壤圈的重大变迁及其相关因果。人类行为已从生物学、化学及物理学各方面改变了地球表面。在此我将完全略过人类对栖息于土壤中的菌类、细菌、啮齿动物与昆虫所造成的影响，[1]而将重点放在化学与物理变化。它们涉及了20世纪诸多方面的人类事务，包括政治、经济、健康，甚至营养。

地壳的基本构造

岩石圈是地球外壳的一层岩石。它浮在熔岩之上，像滚烫的汤上面的那层浮渣。这层外壳约有120公里厚。在地质时代岩石圈是会移动的：板块移位时，将部分岩石圈挤入岩浆而融化，其他部分则由岩浆冷却、固化而形成新的岩石层。在这个缓慢的循环过程中，人类只会注意到突发的震动——地震与火山爆发。与这些缓慢但大规模的自然运动比较起来，人类在岩石层所留下的印记似乎微不足道。

土壤圈则由土壤构成，相当于地球的皮肤，是岩石圈与大气圈之间的一层膜。土壤圈由矿物颗粒、有机质、气体及大批小型生物组成。它是一层薄薄的皮肤，厚度通常很薄。土壤需要好几个世纪或数千年才能形成，最后则通过侵蚀作用回到海底。土壤形成与侵蚀之间的过程是人类生存的基础，是植物存活的来源、生命的铸造厂。[2]

土壤的炼金术

以前的炼金术士，得大费周章才能从基本金属中提炼出黄金，到了现代，农民及农学专家也以类似的方式对待土壤：让贫瘠的土壤肥沃，肥沃的土壤更加肥沃，并从中获利。长久以来在一知半解甚或毫不知情的状况下，人类已改变了土壤化学。自有农业后，人类的农耕行为已大量降低了地球土壤养分的供给。在城市出现前，情况其实相当温和，因为植物从土壤中所吸收的物质，经短暂或长期间停留在动物或人体消化道及组织后，绝大部分很快就回归到土壤中。但有了城市之后，人类社会借由在土地上进行农耕与放牧来有系统地输出养分。这其中有的回归到土壤中，例如将人类排泄物收集至农民处作为肥料。这种做法早在荷马的《奥德赛》当中就已提到，但以中国与日本实行得最为彻底。但大部分并未回归土壤，而是流入下水道、河流与海洋。到了20世纪，在一片混乱的都市化及农耕放牧活动大规模扩张后，养分输出量较以往大幅增加。养分的枯竭，特别是氮及磷，限制了植物生长进而影响作物收成。农业的历史即为对这种现象的长期抗战。如果重复种植特定作物（例如糖、棉花及玉米），则会耗尽土壤中的特定养分。轮作这种自古以来的做法限制了养分流失。有系统地使用豆类（其产生的细菌能抓住土壤中的氮）便很有帮助。19世纪海运成本降低，较富足的社会便从秘鲁及智利进口鸟粪这种化石肥料，来补充当地农场的养分补给。但若不是化学家找出从岩石中提炼“过磷酸盐”（superphosphate）以及从空气中萃取氮的方法，全球农产品的产量会大幅降低（全球人口也会大幅减少）。

在1842年，英国乡绅约翰·劳斯（John Lawes，1814—1900年）率先将硫酸作用在磷酸岩上，产生了可以洒在土壤上的浓缩过磷酸盐。劳斯发明了第一款人工肥料，不久便创立首家化学肥料公司。英国与欧洲大陆只能供给少量的岩石原料，因此佛罗里达州（1888年之后）及摩洛哥（1921年之后）的磷酸岩很快就被开采、运送、经化学处理转换为过磷酸盐，然后分销给北美及欧洲较为富裕的农民。当时苏联发展出在科拉半岛（Kolal Peninsula，1930年）北极圈地区开挖磷酸岩矿的技术，接着又扩及哈萨克斯坦斯坦（1937年），进而创建起肥料工业。第二次世界大战后，中国与约旦也开发出大量的磷酸岩矿藏，近年来泰国也有类似发现。[3]这些国家的矿产，再加上部分海洋鸟粪堆，供给了20世纪日益增加的大量磷酸岩需求。

要为全球土壤供给氮就比较困难，20世纪前只能靠闪电及生长在豆类根部的特定微生物才能做到。[4]虽然跟磷酸岩相比空气的供给量相当充沛，直到19世纪末多数科学家仍认为从大气中提炼氮是相当伤脑筋的事。后来在1909年，从事学术研究的化学家哈伯（Fritz Haber）发现了如何通过合成氮从空气中萃取出氮。工业化学家卡尔·波许（Karl Bosch）则以哈伯的方法大量生产硝酸盐，因此这个制作过程被称为哈伯—波许合成氮法。

哈伯于1868年出生于现为波兰西里西亚（Silesia）的布雷斯劳（Breslau）的一个德国犹太家庭。他的父亲经营一家染料公司，他先在家中企业工作，后来说服父亲大量买进能治疗霍乱的氯化石灰，希望趁1892年漢堡包疫病大流行大赚一票。但后来疫情并未扩散，哈伯的父亲为这批氯化石灰库存所苦，因此建议判断失误的儿子别想再靠流行病赚钱。到了30岁时，哈伯已成为卡尔斯鲁厄（Karlsruhe）地区知名的化学家，从事碳氢化合物裂解相关的基础研究，而这也是高效率原油提炼过程中相当重要的一环。

哈伯同时也是个爱国者。1900年，德国农民使用的硝酸盐有1/3来自智利出口的鸟粪堆。没有这些进口的氮，德国就无法喂饱自己的人民。哈伯希望固氮作用（nitrogen fixation）能解决一般性的农业瓶颈，并同时解决德国的地缘政治问题。尽管第一次世界大战期间受协约国军队封锁，直到战争末期德国仍持续仰赖哈伯—波许合成氮防止饥荒发生。它还提供了可以用来制造炸药的硝酸盐。哈伯于1918年获颁诺贝尔化学奖，据说颁奖典礼上众人都说他从空气中赚到面包。第一次世界大战后，哈伯—波许合成氮很快就变成一门有利可图的生意。[5]

第一次世界大战期间，哈伯致力于为德国军方制造毒气（这让他的妻子相当苦恼，以至于在1916年自杀身亡）。德国战败后的1919—1926年，哈伯努力尝试从海水中萃取黄金，以协助德国支付战后赔款。1933年纳粹当权后，这些爱国举动却对他一点儿好处都没有；哈伯在各界压力下辞去职务（当时他是全球最知名的物理化学实验室主管）并移民英国，一年内便辞世了。但他其实塑造了20世纪全球土壤化学，让农业在各种土壤退化现象下维持蓬勃发展。[6]乔纳森·斯威夫特（Jonathan Swift）在1726年的著作《格列佛游记》中写道：“谁要能在原本只能种出一根玉米的土地上种出两根玉米，就能比所有政客更能造福人类。”在将近200年后，哈伯做到了。[7]

哈伯—波许合成氮法需要大量能源，但只要在能源够便宜的地方，

制造含氮肥料便是一件可行的事。然而直到第二次世界大战后，经济情势（特别是1929—1938年的经济大萧条）还是减缓了含氮肥料应用的发展。1940年全球约使用400万吨人造肥料，其中多为氮及过磷酸盐，还有从碳酸钾提炼的钾肥。到了1965年全球肥料用量为4000万吨，1990年则逼近1.5亿吨。[8]这样的发展，不论过去或现在都给全球土壤带来重大的化学变化，并且在经济、政治及环境方面带来莫大影响。

举例来说，光是人造肥料就可能让20亿人填饱肚子。但若不是收成量暴增，则需增加30%的肥沃农地才能喂饱全球人口。这是根本不可能的任务。[9]此外从1950—1985年，无论从社会或农民的角度来看，富有与贫穷农民之间的差距均出现系统性扩大。20世纪60年代前贫穷国家鲜少使用人造肥料，当地农民发现越来越难与拥有大量余粮的北美及澳大利亚竞争。1970年后，肥料用量增加大部分来自贫穷国家，但仍以能负担此等成本的大型农场为主，小农只得陷入绝境。在日本、韩国及近年的中国，大量使用人造肥料提高了稻田的劳动生产率，数百万名农民转行成了都市民工，成为这些国家经济奇迹的功臣。但在印度、墨西哥、菲律宾，以及其他大规模农户人造肥料用量远超过小农的国家，流离失所的农民带来的是社会紧张而非经济奇迹。因此，劳斯与哈伯其实造成了现代社会结构与国际劳动分工的现象。

大部分的肥料其实并未发挥作用，反而污染了水源。相关数据莫衷一是，不过一般认为使用的肥料中超过半数最终会流入农地及下游邻近地区的水源。这是河流、湖泊与海洋富营养化（eutrophication）的主因，特别是在欧洲及北美地区（富营养化指过多的养分供给，请见第5章）。尤有甚者，就算肥料留在土壤中，长期的“土地化疗”常导致微量营养素供给的问题，对农耕来说有害而无益。[10]

化学肥料的影响并不仅止于化学层面，它们对1950年后作物的选择也有极大的影响：对肥料反应良好的作物（例如玉米）就大力推广，取代那些反应不良的。越来越多的人只吃少数几种食物，因此造就了一种趋势——现今有2/3的谷物来自三种植物：稻米、小麦及玉米。化学肥料的使用也让食品生产完全依赖生产肥料所需的化石燃料：我们的食物来自石油的比重，已经跟阳光不相上下。它还大规模地改造了全球氮磷的循环，造成只眷顾以这些营养素为主食的物种。地球这项基本改变，会对人类带来什么后果，尚属未知。

土壤的污染

20世纪化学工业补充了土壤的重要营养素，同时也污染了土壤。一般而言，土壤污染出现在所有化学及冶金工业兴盛的地区，主要集中在欧洲、北美东部、苏联及日本。

土壤污染的主要来源之一，就是铅、镉、水银及锌等金属的开采、提炼及使用。这些金属对现代化学及冶金工业相当有帮助。20世纪的工业化过程也大量需要这些金属。但即使剂量极低，这些金属对人类（或其他）生命来说都有危险，尽管少量的锌对人体来说相当重要。在20世纪，这些金属大量渗入土壤（还有空气和水源）；举例来说，1875—1975年铅和镉的排放分别增加了大约20倍。[11]这些金属大多以空气污染的形式进入污染循环，有些则通过排放废水，有些甚至直接倾倒在土里。不论途径为何，一旦这些金属进入土壤，就会进入食物链。

日本就是一个极具戏剧性的例子。明治维新（1868年）后采矿与冶金工业兴起，带来了严重的重金属污染。19世纪末，几个矿区附近的稻米产量因铜污染而减少，但仅限于部分地区。20世纪初，采矿与冶炼将重金属带进日本数条河流流域的稻田，经常引发农民抗议。在1926年的“竹枪事件”中，土地遭到铜污染的农民包围了小坂矿区。在神通川河谷地区，第二次世界大战前便出现过数起骨胳疾病案例，现称“痛痛病”，后来发现这是镉中毒的后果。战后又发现好几百个病例。1950年后朝鲜战争带动日本重金属工业起飞，重金属产量及污染也直线上升。到了1973年，日本锌产量已领先全球，镉产量也接近全球最大。经由各种不同途径，重金属污染了灌溉水源。稻田抽干水后，留下了浓缩的污染残余物。镉特别容易为稻米这种植物所吸收。到了1980年，约有10%的日本稻田因土壤镉污染，不适合种植人类食用的稻米。通过食物摄取到镉及其他重金属，造成20世纪日本数百人死亡，数千人染病。由于稻田就在矿场及冶炼厂附近，日本的重金属土壤污染比其他地区更为严重。[12]

其他地方的土壤污染也影响了社会及生态，但都不及日本严重。20世纪70年代，波兰西里西亚的土壤、蔬菜及居民，都验出不利健康的高浓度镉、汞、铅与锌。加拿大安大略萨德伯里（Sadbury）冶炼厂下风处的土壤，镍及铜浓度约为背景比较值的400倍，几乎没有植物可以存活。1970年后，全球各地森林及草地土壤也有重金属浓度升高的迹象，不过只有少数工业区严重程度足以危害健康。举例来说，20世纪80年代

印度北部土壤污染程度比德国赫斯（Hesse）低了一或两级。[13]20世纪都市土壤中累积的金属浓度，为背景比较值的10～100倍。20世纪70年代中期之后，空气中的排放量及土壤中的微量金属沉积物减少了，其中尤以铅及镉最为明显，主要是因为工业界开始进行规范。但铅会在土壤中留存3000年，因此这种20世纪特有、证明对健康有不良影响的遗产，将会长久存在。[14]

除金属外，工业化还产生各种有毒废弃物。人造化学物在19世纪出现，到20世纪中期之后才对环境造成重大影响。自1900年以来，人类约合成了1000万种化合物，其中约有15万种具有商业用途。[15]合成化学产量（以重量计）在1940年到1982年增加了350倍。使用这些化学物的产业产生了大量废弃物，其中多半具有危险性。目前尚无有毒废弃物产量的历史数据（且各界定义大不相同），但1940年之前应是呈现缓慢增长趋势，到1950年后化学工业蓬勃发展才加速增长。有毒废弃物大部分被丢弃至掩埋场（可能高达50%～70%），少量直接进入土壤（通常发生在都会地区或化学、石油及冶金业集散地），以合法方式倾倒或非法弃置在路旁、公园及私有土地上。

在1980年之前，这些废弃物通常不会引起太多关注，一般认为不过是工业发展的代价之一。1936年，美国境内化学公司有80%～85%的有毒废弃物，未经处理便倾倒在工厂附近的坑洞、池塘及河流。[16]但在1976—1980年，邻近纽约州布法罗城的爱河（Love Canal）地区有越来越多的证据显示，当地癌症与先天缺陷病例明显源于1942—1953年掩埋在当地的化学物。胡克化学公司（Hooker Chemical Company）将毒物埋在地底后，在上面种植草皮并转交当地小区，并在原址兴建学校及住宅。到了1980年，联邦政府疏散数千居民并将爱河隔离，正式宣告当地为国家级灾区。很快数百个其他小区开始在健康问题与化学废料场之间抉择。有毒废料场（1980年光是美国就有5万处）成了环境政治、立法、诉讼的焦点，联邦政府也成立所谓的超级基金（Superfund）试图收十残局，资助有毒废物弃置地点的复原工作。在美国与欧洲，因为法律禁止过去那种任意丢弃的模式，有毒化学品的处理问题越来越大。

将有毒废弃物出口至其他国家处理，到了20世纪70年代已成了一门跨国生意。美国将废弃物掩埋或倾倒在墨西哥，东南亚国家也接下了一部分的日本废弃物，摩洛哥与部分西非国家则接收了来自欧洲和美国的废弃物。民主德国堪称1989年前全球最大的废弃物进口国。讽刺的是两德统一时（1989—1990年），联邦德国过去（短暂）出口的有毒废弃物

问题又回到自己手上。到了20世纪80年代末，有毒废弃物相关的国际贸易每年达数百万吨，但富国花钱让穷国接收有毒物质的奇特现象，引发了政治阻力。1987年，一船来自美国的有毒焚化炉飞灰航行在大西洋上，希望找到愿意接收的国家。在20世纪80年代末及90年代，出现了许多协议及公约，意图规范有毒废弃物的国际贸易，其中许多交易都是非法的。[17]

现代武装部队是化合物的大用户。在苏联与美国，1941年后最大的单一土壤污染源就是军队，第二次世界大战与冷战期间它们通常不受规范。美国与苏联境内许多军营，以及部分海外基地，土壤与地下水污染非常严重，清理费用高得吓人。[18]

1950年以前，土壤化学中毒的累积效应不大。此后有越来越多地方遭到污染。土壤污染问题在1975年后开始转移，时值重工业从欧洲、北美和日本移往韩国、中国台湾、巴西等地。所到之处，土壤污染主要集中在都会及工业区。通过农业用化学药品及空气中沉积的氮、硫和微量金属，对乡间土壤造成的影响较小。土壤污染物进入水源、食物链及人体，让数百万人的生活变得更糟，甚至有数千人寿命缩短。

土壤与岩石的移动

自然的力量能移动大量的岩石。火山爆发、构造活动、冲蚀的冰河与自然侵蚀，长久以来塑造了地球的面貌。在20世纪，人类主要因为采矿及侵蚀加剧，成了跟这些自然力量不相上下的地质代理人。以粗略估计数字组成的表1.1，显示截至20世纪90年代为止人类所造成的影响程度。在20世纪初，人类对地质的影响可能只有20世纪90年代规模的不到1/10，跟冰河不相上下。[19]在部分地区，例如英国，1990年人类移动岩石土壤的数量已超过大自然。英国其实是个特例，因为有强大的煤矿工业及相对贫乏的自然资源。[20]

表1.1 平均每年岩石与土壤被移动数量

	单位：10 亿吨
风蚀	1.0
冰河	4.3
造山运动	14
海底火山 [a]	30
人为 [b]	42
水 [c]	53

数据源：Hooke 1994

注a：指大海中央有新岩石山脉突起。

注b：Hooke估计为400亿及450亿吨，视假设而定。

注c：水移动岩石土壤的状况包括（非人为）湖泊及海洋的泥沙递移（约140亿吨）及分水岭地区内的淤泥（390亿吨）。

采矿　　人类很久以前就会开挖地表寻找有用的金属与燃料。不过1820年前开采规模都不大，即使是在罗马帝国时期（公元1—3世纪）或中国宋朝（10—12世纪）鼎盛期间。工业化在1870年后引发一股寻找金属矿砂的热潮，蒸汽机的发明也导致煤炭需求暴增。举例来说，煤炭开采（表1.2）在1800年为1000万吨，19世纪增长了10倍，到20世纪又增加6或7倍。现代煤矿开采主要集中在英国，一度还出口煤至印度及阿根廷。但很快开采活动便在全球盛行起来，19世纪90年代到20世纪50年代以美国居首，接着是苏联，大约在1980年后是中国。铁矿砂的开采也依循同样的发展路线，先在英国大量开采，1890年前是德国和美国，1930年前则为苏联，到了20世纪90年代，中国、巴西、澳大利亚和俄罗斯成为全球主要铁矿砂开采国。砂石和其他建筑材料成了采矿活动的一大产物，集中在有建材需求的都会地区。在1980年左右，采石场所移动的土

壤已经超过自然侵蚀。[21]到了20世纪初，美国矿工每年移动大约40亿吨岩石，全球数字约为其4～5倍。[22]

表1.2 1850—1995年全球煤炭产出

年份	产出（单位：百万吨）	指数（1900 年为 100）
1800	10	1.3
1850	76	10
1875	283	37
1900	762	100
1925	1358	178
1950	1800	236
1975	3257	427
1995	5000	656

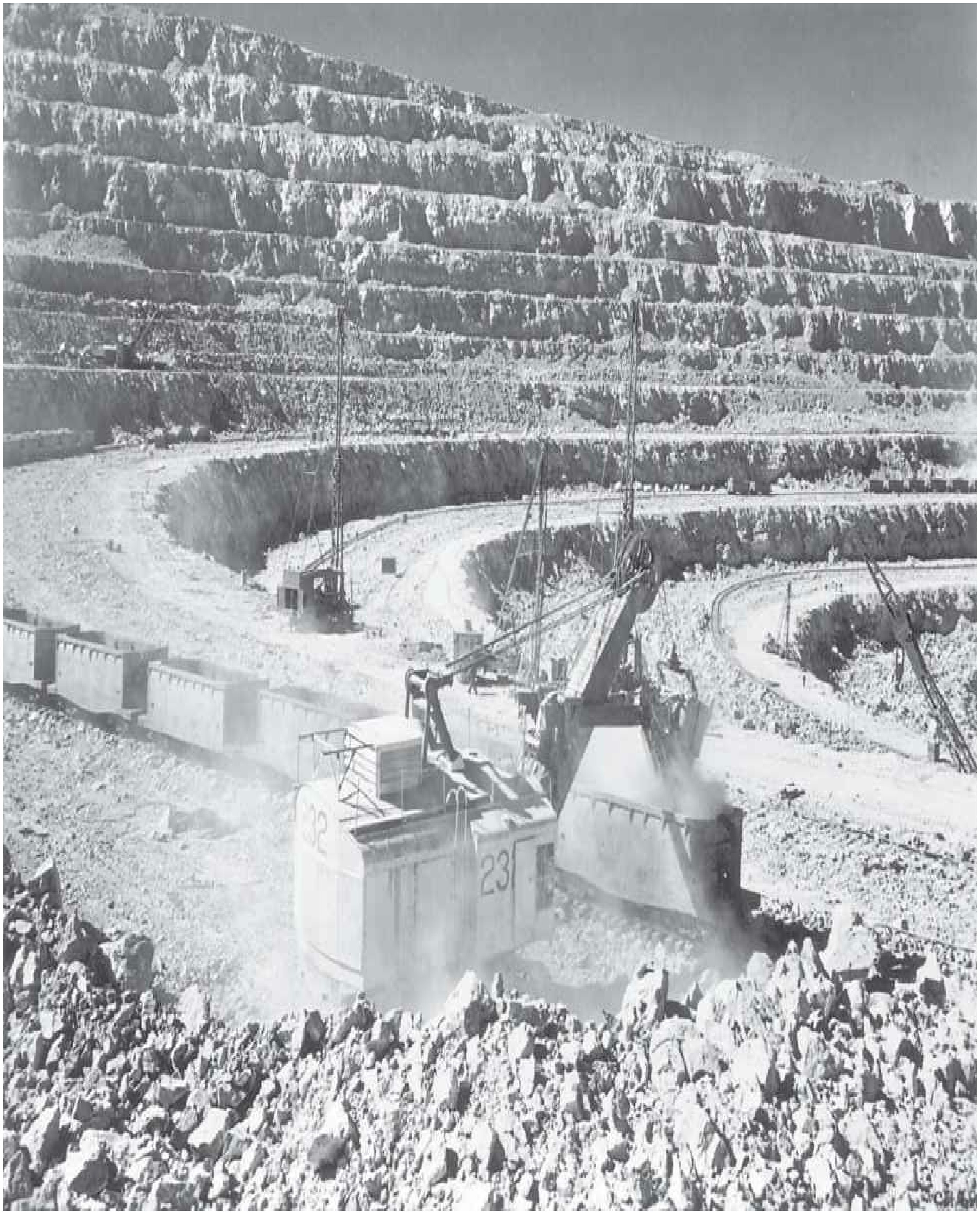
数据源：Headrick 1990：60，Erickson 1995：78，Smil 1994：186有类似数据

这些采矿活动造成各种杂乱的地下竖井及空间，这些都会破坏岩石圈，而精密的挖土器械问世后，更在地表挖出数千个大型开口，主要集中在美国、俄罗斯、德国与澳大利亚。这还会产生堆积成山的废弃岩石与矿渣，河中因此满是泥浆和淤泥。[23]英国的煤矿区出现了一堆堆矿渣小山，1966年其中一座还倾塌并掩埋了韦尔斯一处村庄。在沙加缅度河（Sacramento River）谷区，以水力开采金矿（1800—1909年）使淤泥量增加了10倍；（采锡的）马来西亚霹雳河（Perak River）和（产金的）新西兰克罗沙河（Clutha River），曾同时出现因水力采矿污泥而染黑河水的状况。[24]现代采矿作业会改变附近数公里范围的自然景观及生态，新喀里多尼亚（New Caledonia）便曾出现此一现象。

新喀里多尼亚是西南太平洋上一个面积相当于美国新泽西州或科威特的雪茄状小岛，与新几内亚、澳大利亚和新西兰的距离都差不多。库克船长以苏格兰语的罗马为其命名，但两者除了多山以外并无相同之处。1840年法国传教士到美拉尼西亚部落传教，接着法国在1853年将新喀里多尼亚吞并在其太平洋帝国之下。20年后，探勘者发现了镍这种坚硬抗腐蚀的金属矿，后来发现可用于制造飞机、武器，甚至可用于核能发电。新喀里多尼亚山顶正好蕴藏了全球已知氧化镍矿藏的1/4～1/3。

早期采矿靠的是镐和铲子，还有来自日本、爪哇和越南的移民。到了1926年，新喀里多尼亚的矿产量已领先全球。大战后半世纪内的多数期间，它的产量仅次于加拿大和苏联。印度尼西亚在1994年取而代之。在1890—1990年，法国兴业乐镍业公司（Société le Nickel,SLN）移动了5亿吨岩石，采得1亿吨的矿砂及250万吨的镍。当地采用露天挖矿法，第二次世界大战后甚至以这种方式铲平了山头。

后来证实这造成了深远的环境及社会效应。为了取得镍，矿工铲掉了山嵴。河流中满是淤泥及碎石，因此无法钓鱼或灌溉。洪水和山崩破坏了洼地，将砂砾遗留在可耕地上，椰林也被冲倒。当地有全球数一数二的大型珊瑚礁，也被淤泥覆盖。在开采镍矿的头十年里，许多卡纳克人（Kanak，新喀里多尼亚的美拉尼西亚族）失去了生计、家园及土地。由于将矿砂运回欧洲市场成本太高而在当地兴建的熔炉，使空气中充满了黑烟及有害气体。卡纳克人与传教士多有抱怨但徒劳无功。20世纪30年代，一处教堂屋顶因硫黄烟雾而熔解。加上雇佣劳工、经济作物、现金征税以及移民矿工的涌入，大大影响了卡纳克人的生活形态。但环境与社会的变革才刚开始。



化石燃料时代的采矿行为，快速且彻底地重整了地球的景观。图为1944年智利丘基卡马塔（Chuquicamata）铜矿开采时的情形。20世纪中期，铜是世界上最重要的原材料之一，主要是因为铜可用来制造电线。由于产业与家庭转为用电，全球各地类似的矿场变得相当忙碌，从日本、新喀里多尼亚、津巴布韦到美国犹他州皆然。1980年后无线通信与光纤电缆使铜的需求降

低，全球多处铜矿因此关闭

1950年后，挖土机、液压挖掘机和载重40吨的卡车取代了镐与铲子，到1960年生产规模也增加了10倍，1976年增加了100倍，主因是冷战时期日本工业在全球武器市场大举扩张且景气繁荣。环境与社会的错位现象日益严重，进而在20世纪80年代引发了让新喀里多尼亚元气大伤的独立运动及政治暴力。在那10年当中，法国政府开始针对法国兴业乐镍业公司的主要矿区强行实施环保规定，但废弃矿场的污染、侵蚀和淤积往往延续数十年，甚至数百年之久。[25]

新喀里多尼亚开采镍矿的历史，是改变地球岩石圈后造成环境退化与社会瓦解的一个极端案例。如果矿区位于法国本土，情况可能大不相同。但1880年后帝国主义与工业化盛行，全球有越来越多的采矿活动选在限制较少且执法不彰的地区进行。美拉尼西亚其他大型矿区也发生类似事件：（1960年后）巴布亚新几内亚的布干维尔（Bougainville）潘古纳（Panguna）矿区，（1980年后）新几内亚的奥克泰迪矿区（Ok Tedi），以及（1980年后）伊利安查亚（Irian Jaya）自由港（Freeport）矿区。[26]类似新喀里多尼亚的例子，还发生在智利、澳大利亚、赞比亚、西伯利亚、美国犹他州等地。[27]

带动土壤侵蚀大增的三大动力　土壤侵蚀的历史跟大陆的形成一样久远。只有人类活动会加速土壤侵蚀，而其历史则与农业一样久远，之前也有，但规模微不足道。到了现代，所有土壤侵蚀中约有60%～80%由人类造成。我们应该可以说，这样的比例是史上最高纪录。[28]

土壤侵蚀不但是一种多重的威胁，也是自古就有的。农田土壤流失会降低作物收成。土壤流失后，其流向通常都不利于人类。侵蚀土壤最后流入水库及湖泊，影响水中生物，还会造成海岸线、港口及河道淤积，因此必须进行疏浚。现代疏浚机械发明之前，港口常因淤积被迫弃置，例如古代小亚细亚的米利都（Miletus）。被侵蚀的土壤通常需要数百年才能完全流入海中。[29]

在漫长的人类历史中，曾有三大带动土壤侵蚀增加的动力。[30]第一次是中东、印度和中国农业从河谷扩散到过去曾为森林的地区。这个过程发展得相当缓慢，约自公元前2000年到公元1000年，随着国家、经济体及人口增长，以及铁器发明使砍伐森林变得容易而起。将既有植物铲除或焚毁以养殖其他作物或动物，侵蚀就会加速。如果发展出稳定的农

耕或放牧系统，高侵蚀率通常会降下来，但鲜少能够恢复到先前自然植被状态的水平。无论如何，再怎么稳定的农耕系统通常都无法长久，而会受到流行病、战争、移民及气候变迁的影响。因此，尽管这种古老的土壤侵蚀原因早已达到高峰，直至今日仍未完全消失。

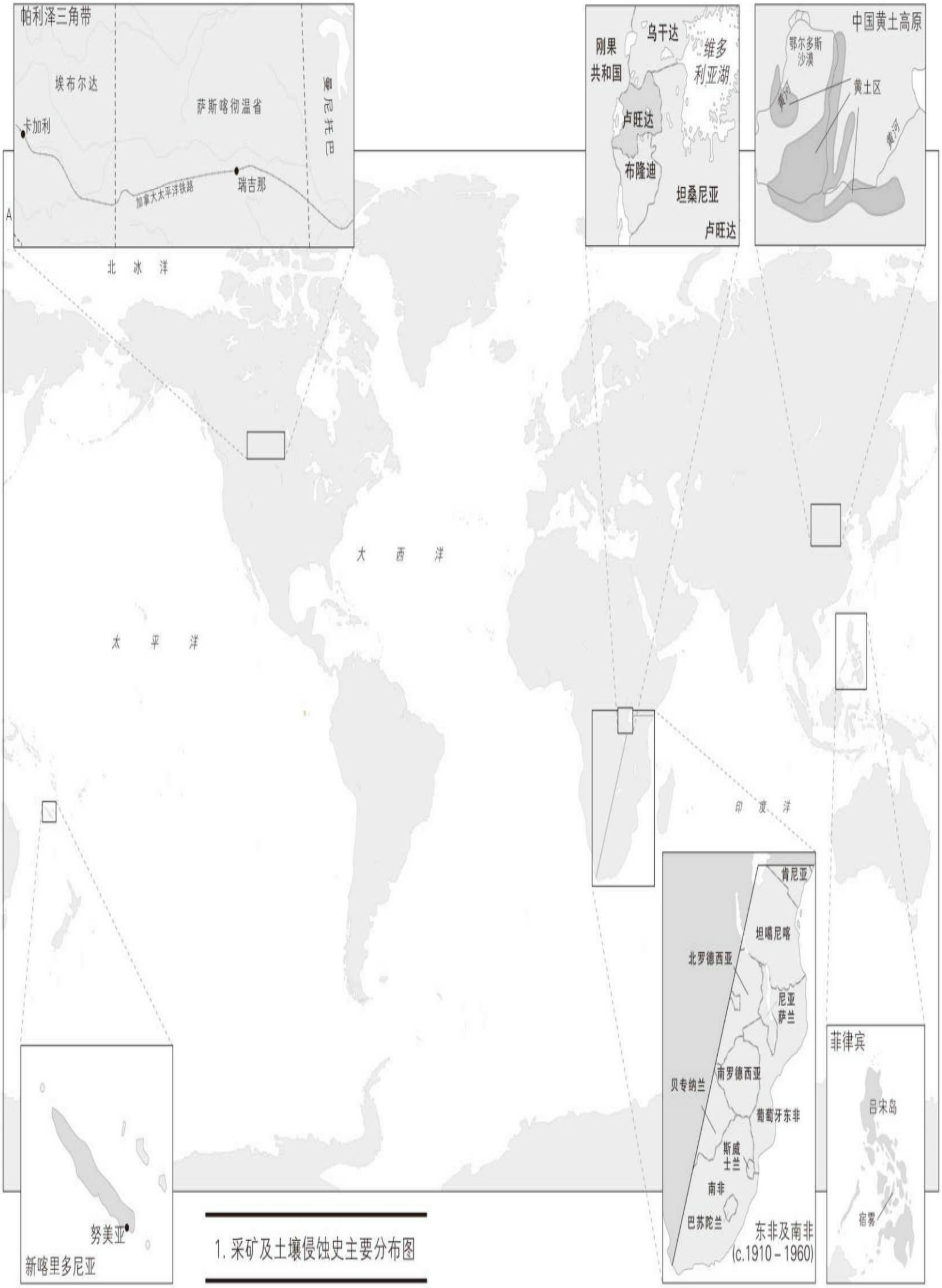
中国的黄土高原是土壤侵蚀史上第一股动力的典型案例。这片相当于法国大小的黄土地上，住着大约4000万人。它位于黄河流域中段，是全世界最容易侵蚀的地区之一。这里的土壤，是过去300万年来风从蒙古带来的沉积物所组成，组织松软且相当容易移位。当地夏季常有倾盆大雨。在农耕之前，黄土高原多为森林所覆盖（3000年前）的时候，[31]侵蚀作用每年带走大约11亿吨的土壤。接下来2000年内，间歇性的农耕清空了大部分的高原地区，侵蚀因此加剧，黄河也因此得名。到了20世纪初，土壤流失达每年17亿吨，1990年更高达22亿吨。[32]

全球土壤侵蚀第二次大幅度增加，则是发生在欧洲开拓疆土时期，以及全球农业市场一体化时期。这股动力始于1492年欧洲征服美洲及欧非殖民。美洲被征服造成当地人口浩劫，而在安第斯山脉与中美洲人口稠密的山区，梯田崩坏且土壤侵蚀的状况暴增。由欧洲人引进的放牧在美洲兴盛起来，动物的蹄造成更多土壤松动。这股造成土壤侵蚀的动力，约在1650—1700年人口数量稳定后减弱。[33]然而1840年后约6000万欧洲人移居海外或西伯利亚，侵蚀又再增强。许多人定居城市，但有数百万人在地处温带的北美、南美、南非与马格里布（Maghreb，指地中海摩洛哥、阿尔及利亚、突尼斯和利比亚西北部）、澳大利亚、新西兰和北高加索地区耕地。[34]在以上多数地区，欧洲人入侵带来了第一波严重且大规模的土壤侵蚀。[35]离开家园的农民，大多来自北欧，这一点相当重要。

这些农民对土地与农业的经验相当特别。从爱尔兰到波兰的北欧地区，雨量温和且地形坡度较低，土壤也较能抵抗侵蚀作用。一年当中耕种者随时可放任农田闲置并让有蹄类动物在其上游荡，而不会有土壤侵蚀的风险。温和的降雨缺乏让土壤移位的能量。但若将同样的耕作与放牧系统，移植到土壤较轻、坡度较陡且雨量较大的地区，如美洲、南美、澳大利亚及亚洲内陆，就会造成破坏性的侵蚀。如果征服者与殖民者来自一个不会导致他们忽略土壤保持的环境，造成第二次土壤大规模侵蚀的动力就会削弱许多。

除此之外，欧洲屯垦移民通常会让当地人口移往边陲地区，特别是那些土质不稳定的陡坡地，结果往往在第一次接触犁或挖掘用棍棒后，

就暴露在侵蚀作用下。这种现象在非洲南部、北部及东部的欧洲人屯垦区特别明显。以南非、罗德西亚（Rhodesia，今津巴布韦）及肯尼亚为例，欧洲势力让白人农民取得较佳的土地。数百年来非洲农民以锄头及挖掘用棍棒（而非犁）在这片土地上耕作。但大约在1890年后，欧洲农民引进了犁和农业商业化，开始种植小麦、烟草、咖啡及其他作物。这在肯尼亚高地与罗德西亚“商业”（指白人所拥有的）土地造成严重侵蚀。与此同时，非洲自有的农耕则被驱赶至条件较差的土地，也就是坡度较陡或较为干燥或两者兼具的地区。在南非、巴苏陀兰（今莱索托）、罗德西亚北部和肯尼亚，人与牲畜挤在比以前更小的地方，也更难避免在不稳定的土壤上耕作。南非的黑人农民在1918年成立组织来关注土壤侵蚀问题（及其他议题）。到了20世纪30年代，南非许多地区的侵蚀状况已达到警戒状态。受美国应对沙尘暴事件经验的激励，南非当局注意到这个问题并尝试实施水土保持机制。南非呼风唤雨的政治人物扬·史末资（Jan Smuts）为当时社会相当普遍的一种看法（至少是白人的看法）发声，他说南非的“土壤侵蚀是这个国家所面临最严重的问题，比任何政治问题都严重”[36]。政府估计数据显示，在25年间土壤侵蚀造成农业生产力降低四分之一。然而，官方的防治侵蚀措施并不受民众欢迎，偶尔甚至引发叛乱，因为相关措施通常牵涉到强迫劳动或强制扑杀耕牛。在莱索托，相关措施也因设计不良而引发民怨，不但没有减少还可能加剧了侵蚀的状况。



1. 采矿及土壤侵蚀史主要分布图

在南非的例子里，土壤侵蚀加速源于众多复杂的社会现象，尤其是屯垦移民社会的政治。白人屯垦区、文化和不当的技术都在其中扮演某种角色：犁与犁沟所造成的侵蚀，远比以锄耕作更为严重。至少在巴苏陀兰，传教士成功地改变了非洲人对万物有灵论的信仰，因而不知不觉解除了对砍树、砍伐森林及土壤侵蚀的文化限制。此外，经济作物的诱因与压力也很重要。（大约在1920年后的）人口增长也发挥了部分作用，但在政治上限制非洲人留在保留区的决定，所起的作用更为重要。

另一个饱受争议的因素，就是南部与东部非洲的文化，也就是公有土地所有制及对牛群的文化依附（cultural attachment）。除非好好规范，土地公有制会提供个人、家庭与宗族诱因，以过度放牧或加速土壤耕作使短期收成极大化。他们可以保留努力的成果，却将代价散播到邻近地区。由于牛群在当地可累积财富并象征财富，成了非洲人努力增加牛群数量并过度放牧的诱因，除非社会规范不鼓励这种做法。社会规范可能在太平时期有用，但在殖民主义、市场化及远距离劳动迁移的各种压力下证明是难以维持的，而这些因素就在1890—1960年撼动了南非人的生活。[37]其他许多欧洲海外殖民地，尤其是北美与澳大利亚，土地价格都相当便宜，有时简直是任人自取。这有助于吸引移民，但也让他们不愿为土地投入金钱、时间或努力，因为破坏了一块土地，很容易就可以另起炉灶。

此外，运河、铁路、蒸汽船和电报让全球各地市场以前所未见的方式联结起来，因此在1870年以后，在北美大草原上耕作或在新西兰南阿尔卑斯山脉放牧数千万只羊，对新移民而言才开始具有经济意义。在这些地区，海外移民对生态造成的冲击与人数不成比例，因为他们生产的货物远超过所需，可以销售到遥远的新兴都会人口聚集地。[38]

加拿大西部的帕利泽三角带（Palliser Triangle）就是此一现象的明显例证。这是埃布尔达（Alberta）、萨斯喀彻温（Saskatchewan）以及曼尼托巴（Manitoba）等草原省份中一个半干旱的小麦种植带。1857年，英国皇家地理学会派遣爱尔兰人约翰·帕利泽（John Palliser）前往当地勘查。他发现这里的土地不适宜人居住或屯垦。1885年加拿大太平洋铁路开通前，这个地区一直属于游牧印第安人与水牛。受到铁路公司宣传的吸引，怀抱希望的屯垦移民陆续来到此地。1897年后大草原有好多年都雨量丰沛，原本数量不多的屯垦移民数量暴增。1901—1915年人口增加约15倍。吉卜林（Rudyard Kipling）1907年途经此地，还以为自己身处在新的“尼尼微城”（Nineveh）。[39]第一次世界大战期间小麦价格

高涨，还有1915年和1916年的大丰收，带动了新的铁路、城镇和屯垦移民。

屯垦移民主要来自北美及欧洲的潮湿地区，虽然也有不少从美国大草原北迁而来。在学者与农学专家的推广下，他们会在夏天休耕以保持土壤湿度。但大草原多风，而且到了20世纪20年代，这种做法在干旱期导致了严重的风蚀现象，数千个农家（主要在埃布尔达省）只好放弃。20世纪30年代萨斯喀彻温干旱来袭。沙尘暴让天空也为之晦暗。有300万～400万公顷（相当于比利时的国土面积）的草原地“全毁”。沙尘吹向了安大略，1934年甚至波及大西洋。社会与经济的紧张形势，相当于发生在美国平原相当知名的“沙尘暴”事件，让主张社会主义的加拿大平民合作联盟（Canadian Commonwealth Federation）这种非正统政党在西部草原地区大获成功，在埃布尔达省则有以右翼民粹主义为号召的加拿大联邦（Canadian Commonwealth）。加拿大的沙尘暴事件也造成人口大举移出，就像俄克拉布荷马与堪萨斯一样。帕利泽三角带农民的悲惨故事，历经了繁荣、侵蚀与萧条的循环。[40]

20世纪20、30年代各地干旱及呈现拉锯状态的经济动荡形势，确实让第二波全球性土壤侵蚀达到高峰。由于经济全球化造成动荡，且当时肯尼亚尚未动用财政政策来抑制波动，全球经济景气高低的循环周期在这些时期特别明显。不受控制的循环周期演变成农业扩张与弃置，而这就像微风和融雪会造成风化，让全世界的土壤逐渐移位。19世纪中期即大力推动土壤保持的杰克斯（G.V.Jacks）和怀特（R.O.Whyte）认为，“1914—1934年，全球流失的土壤比过去整个历史上的总和还多。”这毫无疑问是过于夸大，但其中还是有一丝、甚至不少真实性。[41]

大约1930年左右，欧洲屯垦疆界之内尽是诱人的农地，只有苏联哈萨克斯坦斯坦例外，在20世纪50年代及60年代因苏联体制特有的集中与加速型农业，重复出现上述现象。有了经验之后，农民与牧民学到如何在屯垦初期就开始限制侵蚀的作用。但在这些地区，还是没有农民与牧民能将侵蚀降低到过去或北欧的水平。

与第一波相同，第二波土壤侵蚀也引发了对立：持续进行土壤保护。数千年来农民小心保护土壤，在某些地方（例如印加时代的秘鲁）也维持着高水平。但在多数社会中，特别是劳工相对于土地严重不足的地区，遵循土壤保护的信徒不多且缺乏官方支持。20世纪初出现了关切土壤流失的声浪，其中尤以南非为甚。但土壤保护问题“相当棘手，充满政治炸药，而且永远会拖上好多年”。[42]接着在20世纪30年代初期，干

旱袭击美国南部平原，开始侵蚀近年才开始用犁耕作的土地。1934年，红色的内布拉斯加沙尘吹进华府政治中心，吹进了国会议员的肺里，土壤保护很快便成为美国政策一大议题。

美国土壤专家开始散播这项福音，特别是在英属殖民帝国，还有地中海英国属地及中国。与此同时，苏联当局在乌克兰赞助设立美式防风林以抑制风蚀。数十个国家成立土壤保护机构，通常以美国为学习范例。中国在20世纪50年代成立防风的单位，政府持续进行研究、推广并提供经费，有时也产生极佳的效果。在密西西比上游河谷黄土山坡地，20世纪90年代的侵蚀率为1925—1935年的一半。[43]在许多地区，控制侵蚀的做法降低了必要的代价。但还是没有一个国家能杜绝侵蚀。因此如同上一波，第二波土壤侵蚀至今尚未结束。[44]

全球土壤侵蚀史上的第三波动力，出现在20世纪50年代，至今仍处于高峰状态。从全球的角度来看，它与前面两波有重叠之处，但主要影响不同的地区。1950年后由于传染病受到控制，热带人口在健康与存活率方面经历前所未有的爆发。人口增长，再加上国家政策与土地所有模式，造成土地需求大增，连陡峭的边陲地带都被垦荒。低地农民移居到高山地区，山地农民入侵雨林，其他人则殖民半干旱地区。再一次，他们根深蒂固的农业知识及过往熟悉的牲畜与技术，往往证实并不适用于新农地。

1945年后由美国主导整合全球经济体系，使全球市场关联更加紧密，也在土壤侵蚀恶化现象中扮演了关键角色。咖啡、柑橘类水果、香蕉及肉牛，占用了许多肥沃的热带低地，迫使主食生产移往边缘地带。在某些案例中，例如战后巴西南部咖啡种植普及，商业作物直接移植到过去的森林区。[45]农耕以各种不同方式散布在山坡地，还有过去鲜少涉猎的雨林带。热带地区降雨多为倾盆大雨，具有极大的侵蚀力，因此即使立意良好，并有适当的知识与技术（这种组合相当少见），仍然很难阻止土壤侵蚀严重恶化。

菲律宾列岛多为陡峭地形，雨季期间常有大雨，因此无须人类介入就容易产生侵蚀。在最北端的吕宋岛，大约1800年起便开始砍伐森林来种植经济作物。1898年美国军队将西班牙赶出菲律宾后，美军的军需官员带来了稳定需求，经济作物价格也因此大好。

像菲律宾中部宿雾这类更为偏远的岛屿，则是因为温饱需求与国际政治而进行垦荒，而非市场因素。（1898年）美国征服菲律宾，证实

（大约在1860—1900年）人口下滑步入最重要的时期，但美国占领后很快就支持人口增长与耕地开发。农民开发山坡砍伐森林；雨水冲刷了土壤。宿雾的高地开始被侵蚀，1920年人口压力导致加速砍伐森林，恶化更是快速。这个现象在第二次世界大战期间达到高峰，因为战争与日本占领迫使更多菲律宾人移往高地与森林。1950年侵蚀速度开始放慢，部分原因是许多地区“已无土地可侵蚀”。在坡地进行等高耕作（contour plowing）及20世纪70年代之后的农林学研究，也有助于遏止侵蚀的浪潮，但仍无法完全停止。

接着是伐木公司进驻。自1946年起掌权的菲律宾政客，通过在菲国各地签约授权伐木以中饱私囊。这造成快速且彻底的森林砍伐（主要发生在1960年后），侵蚀现象因而加速，以至于1989年世界银行认定此为该国最严重的环境问题。[46]

非洲中部偏东的卢旺达是另一个高地梯田区，而当地土壤侵蚀的历史也不遑多让。这地区有肥沃的火山土壤、雨量充沛，疾病问题也相对较少，因此近代乡村人口异常稠密。卢旺达西部是一整片高原，山区最高可达4000米。在春分、秋分时节，这些山坡地几乎每天都会降下暴雨。1800年以前，这些山坡地只有森林及少量人口，但探险农耕队逐渐进驻地势较低的坡地。到了20世纪，移民步步向西推进。当时移民潮乃由人口压力所带动（见表1.3）。

表1.3 1910—1996年卢旺达人口密度

年份	密度（人／平方千米）
1910	50—60
1932	51
1948	80
1978	180
1992	270
1996	260[a]

数据来源：Bart 1993；Derenne 1988；人口资料局1996

注a：这个数据相当于以色列、萨尔瓦多或海地的数字，较比利时低了10%。

政治上亦是如此。在1919年《凡尔赛和约》后取得德国殖民地的比利时当局，企图借由强迫胡图族（Hutu）农民进行大面积耕作并接受轮作，使土壤在雨季期间全无植物覆盖，以降低饥荒的频率。胡图农民熟悉的防治侵蚀做法，因为比利时人想提升食物产量而就此失传。由于农民缩短休耕并开垦新农地，因此侵蚀问题加剧。20世纪20年代和30年代，比利时官员开始注意到土壤快速侵蚀的问题，由于英国在殖民地也有类似做法，比利时开始强制实施强迫劳动的土壤保持计划，至今当地人提起当年仍相当反感。1915年比利时总督称卢旺达土壤侵蚀是“攸关生死之事”。[47]20世纪50年代初香蕉成为常见经济作物后，有助于减少侵蚀现象。不像世上多数经济作物，香蕉的大型叶片提供了良好的土壤覆盖。然而，卢旺达许多地区的土壤仍持续快速流失。

1961年卢旺达独立之后，由于每年人口增长率超过3%，陡坡地带的农民屯垦区快速扩张。政府重新关注土壤侵蚀问题，再度强征劳力进行土壤保持计划。在卢旺达部分地区，因人口日益稠密能提供足够劳力来参与土壤保持工作，20世纪80年代部分坡地开始稳定下来。但其他地区侵蚀速度加剧。一场内战（1994—1996年）及后续效应造成乡间人口大幅下降，可能造成梯田区人口减少而常发生土壤侵蚀现象，但也可能没有。卢旺达与布隆迪的乡间人口密度仍是非洲最高。[48]

东非地区至少有一个独立之后土壤保持计划运作良好的例子，那就是肯尼亚的马查科斯山（Machakos Hills）。肯尼亚的殖民土地政策，就是将非洲人集中在贫瘠的土地上，如邻近内罗毕（Nairobi）、半干旱且多陡坡的马查科斯地区。至少从1930年起，马查科斯山即为严重侵蚀所苦，造成粮食短缺问题并迫使人民迁往更干旱的土地。在1930—1990年，人口密度增加了3倍且耕地面积增加6倍。但在20世纪70年代末，肯尼亚的土地保持工作及当地阿卡巴族（Akamba）农民防堵了侵蚀的浪潮。明显的差别在于土地所有权更得以确保，尤其是耕作农民的所有权比牧人更加巩固，此外由于肯尼亚当局与阿卡巴族群中既有的自助组织密切合作，政策的实行也更为民主。来自瑞典的资金也大有帮助。充足的劳动力与稳固的土地所有权，让当地家庭愿意整地、避免动物践踏、挖掘沟渠及其他相关设施。即使人口密度增加，密集农耕仍稳住了马查科斯山的土质。[49]

菲律宾、卢旺达与肯尼亚三地土壤侵蚀加速的时机、原因与结果均大不相同，跟其他地方相比差异更大，像斐济就因为1960年后坡地开始大量种植甘蔗而加速土壤侵蚀，或像8000年前就开始农耕的巴布亚新几内亚高地，因1930年以来开始在边陲地区种植经济作物而侵蚀率倍增；或者像玻利维亚、马达加斯加、埃塞俄比亚、尼泊尔、斯里兰卡、海地与危地马拉。[50]然而在大部分的案例中，有两个主要因素足以解释近代土壤侵蚀何以增加，就是移民或人口的增长，以及市场联结的强化。但这其中的关系永远都很复杂。人口增长在某些状况下对土壤侵蚀具有不良影响，在其他情形下却能有效预防。经济作物通常会带动侵蚀作用，对卢旺达则并非如此。殖民政策（通常在独立后仍然延续）和不确定的土地所有权，通常也在无意中扮演了极为重要的角色。

人口、政治及经济的变革，带动了全球第三波土壤侵蚀（正如第二波），但其他力量所造成的不只是地球土壤表面的破坏。农业科技的变革，也就是采用重机械，导致1930年以后的土壤板结（soil compaction）问题，特别是在1950年后拖拉机尺寸快速增加。现在有些农场器械重量甚至超过20吨。20世纪90年代在北美洲，土壤板结这种会抑制植物生长的现象，每年造成数十亿美元的损失。[51]1960年后工业空气污染及大量使用氮肥造成土壤酸化，其中尤以欧洲为最。灌溉（请见第5章）无意间造成土壤盐化这个古老的问题，到1990年全球有大约7%的土地陷入此一状况。与灌溉无关的盐析作用在北美高原上崛起，造成大约100万公顷土地（相当于黎巴嫩面积）休耕（1945—1990年）。大约在1950年，澳洲西部饱受“盐蠕变”（salt creep）之苦。[52]最具决定性的因素是20世纪都市化与道路的兴建覆盖了土壤。在1945—1975年，有相当于美国内布拉斯加州或英国面积的农地遭到覆盖。[53]上述所有土壤变迁减少了植被，造成更多径流（runoff）与洪水泛滥，渗透反而减少，进而造成侵蚀。

结论

上述所有岩石圈及土壤圈的变迁，其后果均相当深远，但在某些重要方面上也互相抵消。全球约有1/3地表正遭受各种形式的土壤退化。目前因人类活动造成退化的土地（约20亿公顷，相当于美国加上加拿大的面积），相当于全球农耕面积的1/4。约有4.3亿公顷，也就是美国得克萨斯州面积的7倍，已因侵蚀加速而产生“不可逆的破坏”。[54]有些土地

受侵蚀破坏的程度更甚于其他地区。1978年，中国因土壤侵蚀而被迫放弃31%的可耕地。[55]非洲侵蚀率平均为欧洲的9倍，让当地的粮食危机雪上加霜：非洲是1960年后唯一人均食物产量下滑的大陆。20世纪美国流失的表土，大约需要1000年才能形成，近年来更因侵蚀而每年损失17亿吨的土壤。在1982年，40%的可耕地侵蚀速度高于官方最高标准。[56]估计显示1994年美国土壤侵蚀造成每年每人约150美元损失，是全球平均数字的两倍。[57]联合国粮农组织（UNFAO）在1991年估计，光是侵蚀作用每年可损毁全球0.3%～0.5%的农田。这解释了为何20世纪末砍伐森林会面临如此大的压力。[58]人类活动使得土壤侵蚀较过去自然形成率增加两到三倍。[59]

但这又如何？在土壤退化速度达到最高峰的那几年，全球食物产量仍以惊人的速度攀升。20世纪末，全球每人所能分得的食物比人类史上任何时期都要高。密集的肥料使用（主要在1950年后）、基因工程作物（主要在1970年后）再加上其他科学农业的神奇把戏，掩盖了土壤侵蚀与退化的影响。在人类长久的历史中，土壤退化及侵蚀证实并非区域性而是影响广泛的问题。从地质的角度来看，除了少数地区以外，人为的侵蚀似乎影响不大。平均来说全球岩石的确已遭侵蚀，成了海底沉积物后再度结成岩石，被推上海平面后还是会再度被侵蚀，这在地球悠久历史中大约发生过25次。[60]当然从这样的角度来看，人类的问题实在不大。

然而从长远历史的中程角度来看，土壤退化与侵蚀可能会为人类带来重大后果。人类已经在地球上最好的农地上打出肥料这张牌，增加氮或磷酸盐并不会再增加产量。以荷兰为例，20世纪90年代因过度使用肥料无效且有害，因此减少肥料使用。世界上其他地区，尤其是非洲，尽管需要额外进行灌溉，不过增加肥料使用即可能复制曾发生在欧洲与东亚的奇迹。但这还是有所局限，肥料无法弥补土壤流失后的影响。尽管难以辨别，但作物育种这个20世纪高产量背后的另一大推手，同样有其局限。很明显地，食物系统中还存在某种漏洞，我们只要利用更多的土地和肥料并培育出更好的作物，能够喂饱的人数就能多出数十亿人。但同样明显的是，不论就环保或传统角度来看，这种做法的代价都相当昂贵，因为靠更多的投入来生产食物必得花费更多金钱。因此，所有土壤退化、侵蚀、板结、覆盖和污染的问题仍被忽略，尤其如果开始出现淡水或能源限制的痛苦，更会带动灌溉与肥料的成本上扬。正如1900年，我们现在的食物供给有97%来自消失中的土壤。[61]就像肯尼亚马查科斯山的故事告诉我们的，土壤流失是因为疏忽所致，而非必然发生的现

象。

[1]相关信息请见Pimentel et al.1995：1118–9。

[2]Hillel 1991：23–30；Rozanov et al.1990：203–5；Stanners and Bourdeau 1995：147–8。土壤除了产生生物量外还有许多其他有用的功能。它可以过滤有毒物质及病原体，防止地下水污染，且通过微生物作用可中和许多污染物。它还有助于调节陆地圈（geosphere）、生物圈及大气圈之间的互动，所承载的碳也比大气圈或所有地面上的生质总量还多。

[3]Smil 1990：431。1994年全球最大的磷酸岩生产国为摩洛哥、智利、泰国及俄罗斯（美国内政部1995：10–11）。

[4]闪电会从大气氮中产生氨，部分借由雨水带进土壤及生物圈。

[5]德国硝酸盐厂商在20世纪20年代成立联合出口组织，至少在埃及等地小有斩获（Friedrich 1993）。

[6]Smil 1994：182、189–90以及Smil 1993：165均提及哈柏的重要性。Goran 1967则提到其生平。博施在1925年成为大企业IG Farben的老板，并于1931年获得诺贝尔化学奖。

[7]Hillel 1991：129、132。

[8]数据来自Brown et al.1996：9及Solbrig与Solbrig 1994：215。

[9]根据Smil 1993：165计算，光是含氮肥料便能支持地球上1/3或1/4的居民。东亚及欧洲西北部的农业对化学肥料的依赖最深（还有毛里求斯等产糖的小岛）。

[10]Wes Jackson这个说法引述自Opie 1993：257及Olson 1987：220–21。缺乏锌会造成磷过高；大量使用氮和钾常导致缺乏锰。微量营养素包括氮、磷和钾，是所有植物所必需；微量营养素、铁、锌和其他数不清的微量营养素，需要量极少但仍有其必要。

[11]German Advisory Council on Global Change 1995：86。

[12]Asami 1983，1988。

[13]German Advisory Council on Global Change 1995：84。

[14]Asami 1983；Kitagishi与Yamane 1981；Logan 1990；Nriagu 1990a、1996。1980年以前，人为散布微量元素（经由采矿、冶炼、燃烧燃料等）的数量远远超过火山、森林大火、潮汐和其他自然力量。相关比例如下：砷中毒，3∶1；镉，7∶1；铅，25∶1；水银，11∶1（Brown et al.1990：439）。有关土壤中含铅对健康的影响，请见Mielke et al.1983。

[15]Tolba and El-Kholy 1992：249估计当时有10万种商用化合物；Prager 1993估计为8万种。

[16]Colten 1994。

[17]J.Clapp 1994认为20世纪80年代末期数量有3000万吨至4500万吨，其中20%运往发展中国家。Prager 1993估计的数字略低。世界银行一位高阶经济学家坚称，有毒废弃物的国际贸易就经济角度而言是合理的，应予以鼓励而非禁止。

[18]在美国，军队在超过1万处释放出或储存了330亿立方米的危险废弃物。预估清理费用在1700亿～3700亿美元间，需要75年才能完成（USDOE 1995）。至于苏联在民主德国所留下的遗迹，请见German Advisory Council on Global Change 1995：175。

[19]这个约略的估计数字假设1900年人口为2000年的1/4，全球经济为1/14，而全球经济与采矿相关的活动也更甚以往。

[20]Sherlock 1931：238。

[21]Nir 1983：70。

[22]Hooke引述自Monastersky 1994。Ryabchikov 1975：142估计人类每年以犁移动3000平方千米，开采出1000亿吨的铁砂、燃料、岩石及砂石。

[23]1950—1990年，美国的采矿活动“破坏”的沃土面积相当于新泽西州（Arnold et al.1990：77）。

[24]Meade et al.1990：266。新西兰与澳大利亚也利用水力采矿，做法是用高压水管冲去松动的岩石与土壤。1909年后美国加州将其列为违法，不过当时它所移动的土壤已是巴拿马运河土方量的8倍。

[25]Dupon 1986；Winslow 1993。在1994年，镍占新喀里多尼亚国民生产总值（GNP）1/4（US Department of the Interior 1995：587）。

[26]Hyndman 1994。奥克泰迪矿区的采矿作业使新几内亚最大河流弗莱河（Fly River）水中

充斥重金属。潘古纳矿区的尾矿（tailing）让布干维尔贾巴河（Jaba River）全毁，其污染和侵蚀状况甚至成为20世纪80年代末期巴布亚新几内亚当地人寻求独立的叛乱活动中的一大政治议题。自由港铜金矿区的重金属污染了当地土壤与水源。在上述所有案例中，因采矿活动导致生态破坏而受苦的当地人都诉诸政治暴力，当局甚至动用澳大利亚、巴布亚及印度尼西亚军队来保护矿场。（直到1975年，巴布亚新几内亚与布干维尔均属澳大利亚管辖。）

[27]美国犹他州拥有全球最大的人造坑洞宾汉铜矿场（Bingham Canyon）（Goudie 1985）。Ripley et al.1996详述了加拿大采矿作业对环境的影响；Young 1996：105–30则对澳大利亚的状况有所纪录。

[28]相关估计数据请见Alexander 1993：230、Judson 1968：373和Lal and Pierce 1991a：2。作者同事同时也是土壤科学家的蒂姆·比奇（Tim Beach）认为，60%～80%的数字还是太低。

[29]Meade et al.1990。

[30]摘自Dregne 1982；同时请见Butzer 1975。

[31]此为一般看法，Fang and Xie 1994以及Ren and Walker 1998也支持此一说法，但Menzies 1996：556–8则提出质疑。

[32]Wen 1993：73–5；Ren and Zhu 1994。黄河1855年改道后，三角洲向黄海扩张50千米。1970年起，三角洲因为水坝拦住沉积物而停止扩大（Milliman et al.1987）。根据Lal 1990：145，黄河中段有50%的重量为泥沙。

[33]Smith and Baillie 1985。墨西哥长期侵蚀状况请见Heine 1983。

[34]以1910年左右的美国为例，有1/8的移民居住在当地，主要来自德国、斯堪的那维亚与英国，但也有1/6到1/10的爱尔兰、意大利与波兰移民。总体来说，1870—1920年期间约有10%～15%的美国农场为移民所经营，而威斯康星、明尼苏达和达科他州的比例更高达60%～65%（Conzen 1990）。

[35]Butzer 1975：70。

[36]Jacks and Whyte 1939：21。肯尼亚小说家伊丽莎白·赫胥黎（Elspeth Huxley）也认为土壤侵蚀是一大威胁，且防治侵蚀的措施比政治还重要。请见《经济学人》所刊载其讣闻（Economist,18 January 1997：86）。

[37]Anderson 1984；Beinart 1984；Khan 1997,SADCC 1987；Showers 1989；Stocking 1985；Whitlow 1988；罗德西亚北部类似案例，请见Pletcher 1991。下文出自Jacks and Whyte 1939：247：“从开普敦到开罗，欧洲影响力必须为土地快速、部分地区甚至无法控制的生物恶化现象负起责任。”防治侵蚀机制因为干扰放牧或耕作，在许多地方都不受欢迎。请见Campbell 1991。

[38]当然，农业疆界对都会人口区的开放，有时意味着既有田地可能休耕，进而减少部分地区的侵蚀。这种状况绝对可能发生，但因为全球人口增长使耕作与放牧的土地总面积增加，因此减少侵蚀的规模不会太大。田地休耕的净效应很小（除非是梯田耕作），因为新开发的耕作田地侵蚀通常比使用已久的田地快得多。

[39]引述自Jones 1987：30。

[40]Anderson 1975；Jones 1987；Stark 1987。美国沙尘暴事件请见Worster 1979。20世纪50及60年代哈萨克斯坦斯坦也因为不当农耕所带来的风蚀所破坏，19世纪90年代末之澳大利亚每逢干旱也会因此所苦。

[41]Jacks and Whyte 1939：213。第二波土壤侵蚀的例证，请见Bahre 1979：76–7（以智利为例）、Barker and McGregor 1988（以牙买加为例）、Barrett 1997：ch.3（以北高加索为例）、Beach 1994（以明尼苏达为例）、Molina Buck 1993（以阿根廷为例），以及Wilson and Ryan 1988（以安大略为例）。

[42]此为赫胥黎说法，引述自Dregne 1982：12。

[43]Argabright et al.1996。

[44]有关土壤保持的历史，请见Dregne 1982、Grove 1990、Helms 1992、Reij et al.1996和Wen 1993。Lal 1990：132、Opie 1993：9和Pimentel 1993：4则对土壤保持计划的成效与适当性提出质疑。

[45]Foweraker 1981；McNeill 1988。

[46]De Bevoise 1995；Kummer 1991：41,1994；Lewis 1992：174–6,182–4。铜矿开采也加剧了宿雾的侵蚀问题：该国铜矿规模过去与现在均为东南亚最大，每天倾倒的矿渣达10万吨。

[47]Bart 1993：23。

[48]Ibid.339–45；Derenne 1988。战后卢旺达人口再次快速增长，主要是因为胡图人与图西人（Tutsi）实行“报复性生育”（revenge fertility）以确保未来的安全与政治地位。图西人与胡图人之间的战争，至少从1959年之后便一再爆发，在许多地区造成人口下滑，进而可能因为缺乏劳工而导致梯田地区侵蚀加剧。

[49]Moore 1979；Ondiege 1996；Tiffen et al.1994。这个成功的案例可能无法轻易复制到其他地区，因为阿卡巴人过去即有私有土地的历史，这在非洲并不常见。创立于1974年的肯尼亚土壤保持计划，可能是非洲最成功者。

[50]见Blaikie 1985：177–9、Lal 1990：133–41及Roberts 1989：168–69（讨论多个热带地区）；Grepperud 1996（埃塞俄比亚）；Ives and Messerli 1989（尼泊尔）；McCreery 1989（危地马拉）；Zimmerer 1993（玻利维亚）；以及Randrianarijaona 1983（马达加斯加）。

[51]Cruse and Gupta 1991；Raghavan et al.1990。

[52]Craswell 1993：268–9；Daniels 1987b；Hillel 1991：135–40；Young 1996：58–63。自1960年以来欧洲多数地区土壤的酸度已提升一到二级，肥沃程度因此降低（并增加对人造肥料的依赖）。欧洲人已不自觉地破坏了自己相较于世上其他地区更为肥沃的土质。在欧洲，36%的土壤不受任何限制，其他地区则仅有10%～25%。

[53]Pimentel et al.1993：280。

[54]Lal 1990：130。

[55]Ibid.145–6。

[56]NRC 1993a：221–2；Pimentel and Heichel 1991：115。官方土壤流失最高标准，是根据推测土壤生成率所估计的数字。

[57]Pimentel et al.1995。

[58]Solbrig and Solbrig 1994：231引述。

[59]Judson 1968：371。Lal and Pierce 1991a：2认为增加了2.6倍，但这样的精确度在数据中相当少见。

[60]Judson 1968：373。

[61]1900年数据请见Shaler 1905：139。

第2章 大气圈：都会的故事

“地球这大好土地，对我来说似乎也只是不毛的一隅海角；这绝美的苍穹、大气，你看，这华美高悬的苍天，这宏伟的天幕被金色火焰吞噬，为何它在我眼中不过是一团致命的秽气。”

莎士比亚笔下的《哈姆雷特》（第二幕第二场）以惯有的阴郁语调如是说。从地球上生命的观点来看，大气的确是最为绝美的苍穹。但近年来有一种地球生物——人类，对大气拥有极大的影响力，某些地区的状况甚至比莎士比亚所描述的还要污秽，或者说远非哈姆雷特这位工业革命之前的丹麦王子所能想象。直到20世纪后半段，我们一面在少数地方努力净化空气，一面拙劣地修补足以控制地球基本状态的几种微量气体。我们尚未将这大好土地变成不毛的一隅海角，未来也不无可能，但我们确实可能让地球不再适合那些过去数百万年来努力适应环境的生物继续生存。

本章及下一章将讨论20世纪与大气圈相关的人类历史。故事的主题在于，人类如何对大气圈的少数成分带来结果相当严重的微小改变，这些改变都是以百万或十亿分之一来计算。历史上大部分的时间里，空气污染只局限于部分地区且影响不大。到了20世纪规模却以倍数增长，足以影响整个大区域的空气。部分微量气体的污染更是全球性的问题。自1900年以来，地方性的空气污染史主要与都会空气质量有关，大多与燃烧燃料有关。以区域性的角度来说，问题主要在于酸雨的扩散。[1]以全球的角度来说，最重要的趋势则是温室气体的累积；温室气体有助于调节地球温度，以及大气圈臭氧耗竭。因此，这就成了接下来有关大气圈两个章节的题目，主题包括人类使用能源的习惯，对大气圈带来大规模改变的力量，以及我们一手造成大气变动后，会带来何种更严重的后果。在地球历史中，多数时间里微生物在塑造大气圈方面扮演着主导的角色。在20世纪，人类却误打误撞地取而代之。

大气圈的基本结构

大气圈是地球四周一层薄薄的气膜。[2]其厚度约为100千米，虽然它逐渐消散至外层空间，并无明确的外部边界。其中气体的重量约为5000万亿吨，约为海洋重量的0.0003%，因此大气所能承受的污染远比海洋少。空气由数千种气体组成，但以其中两种为主：氮（78%）和氧（21%）。在其悠久的历史当中，大气的化学成分会产生变化。在地球出现植物之前，氧气的含量并不高。但自人类出现后直到近代，这些改变看来实在微不足道。

大气圈是一个动态的范围。它是一个因气压不平均所造成的旋涡，最终则形成气温不平均。在大气圈10千米内，也就是相当于圣母峰的高度，有每日、每季及每年的周期，还有一些为期较长且更不规则的周期。这就是为何气候会如此复杂。大气除了四处扰动，同时也会与土壤、水及生物交换热量、湿度与气体。因此最低海拔地区的生命最为活跃。除了最重要的阳光接收与反射，大气最外层几乎不会与外层空间进行交换，而且这方面相对来说较为稳定。因此，几乎所有影响人类历史的事物，都发生在低海拔地区。[3]

对于大部分人来说，大气圈似乎是无边无际的。但我们无须对那5000万亿吨的氮和氧做任何事情，就可以从根本上改变地球的状况。只要更动主要微量气体的浓度就可以了。现代史上最重要的三种微量气体是二氧化碳、臭氧及二氧化硫。

1.目前二氧化碳浓度约为360ppm（ppm浓度是用溶质质量占全部溶液质量的百万分比表示的浓度，也称百万分比浓度）。它是“温室气体”的一种，会阻挡太阳光从地表反射，进而造成地球升温。如果完全没有或减少温室气体，地球的温度将会下降大约33摄氏度，成为冰冻且无生命的状态。人为二氧化碳的来源，包括燃烧化石燃料及砍伐森林。

2.臭氧也是温室气体的一种。它是都市空气污染的成分之一，是低海拔地区不受欢迎的一种污染源。但在大气圈里，臭氧会吸收来自太阳的紫外线，保护地球生物不致受到潜在的伤害。臭氧层在低海拔被视为污染物，浓度为1～15/10亿（ppb，1/10亿），但在大气圈浓度达500～1000ppb。

3.二氧化硫是酸雨的主要成分，会伤害森林、水中生物并侵蚀金属及岩石。它的浓度鲜少超过50ppb。人为二氧化硫的来源，主要包括燃烧化石燃料，以及提炼金属矿砂。

其他重要的微量气体包括甲烷、氯氟碳化合物（CFC）及两种氧化氮。这些气体的部分相关特性请见表2.1，供读者参考。

表2.1 20世纪史上部分重要微量气体

气体	人为来源	对人类的重要性	人为排放（%）[a]	1900年浓度（ppb）	1990年浓度（ppb）
具有全球重要性[b]					
二氧化碳	燃烧化石燃料；砍伐森林	温室气体	≈ 100	290000	350000
甲烷	稻田、牲畜、垃圾、化石燃料、采矿	温室气体	≈ 60	900	1700

续表

气体	人为来源	对人类的重要性	人为排放（%）[a]	1900年浓度（ppb）	1990年浓度（ppb）
氯氟碳化合物	冷冻剂、喷雾剂	破坏臭氧层、温室气体	100	0	≈ 3
氧化亚氮	肥料、燃烧生质燃料、砍伐森林	温室气体、破坏臭氧层	≈ 25	285	310
具有地方性或区域性重要性					
二氧化硫	燃烧化石燃料、矿砂冶炼	酸雨	≈ 65	?	0.3-50
氧化氮	燃烧化石燃料或生物量燃料	酸雨、烟雾	≈ 65	?	0.001 ~ 50
臭氧（对流层）	汽车废气与阳光相互作用	温室气体、烟雾	50 ~ 70	10[c]	20 ~ 40[c]

数据源：Graedel and Crutzen 1989；Salstein 1995

注a：人为排放数据，为截至大约1900年其占所有排放量（人为加上自然）百分比。

注b：某些微量气体具有全球重要性，而其他只对地方或区域有影响，是因为它们“滞留时间”不同。停留在大气中平均时间很短的气体不会扩散到全球各地，而停留较久的就会。不同气体的滞留时间各异，从几天（二氧化硫）到一个世纪以上（二氧化碳、氧化亚氮、氯氟碳化合物）。

注c：对流层臭氧的浓度数据只限于西欧。

在20世纪，人类的行为使更多气体进入大气圈。燃烧化石燃料、金属冶炼以及焚化废弃物，将数千吨可能有毒的金属像尘埃一样释放到空中。其中有些无可避免地进入了食物链，危害了鱼类、水獭、鳄鱼、貂、浣熊和老鹰等生物。人类健康也因为主要来自汽车废气的铅排放而受害。有关现代各时期金属排放历史演进的估计数据，请见表2.2。铅排放的数据反映了1920年后汽车盛行的趋势，而镍排放的增加，则与20世纪30年代以降军备工业的兴起有关。然而另一项值得注意的特征是，拜1980年后环保意识及法规，还有最新科技及效率提升所赐，金属排放量已普遍呈现下滑趋势。[4]

表2.2 1850—1990年全球排放到大气圈的金属含量

年平均量（单位：吨）					
年份	镉	铜	铅	镍	锌
1850—1900	380	1800	22000	240	17000
1901—1910	900	5300	47000	800	39000
1911—1920	1100	8000	49000	2100	49000
1921—1930	1400	9600	110000	2100	62000
1931—1940	1700	12000	170000	4900	75000
1941—1950	2200	17000	170000	8000	96000
1951—1960	3400	23000	270000	14000	150000
1961—1970	5400	44000	370000	26000	240000
1971—1980	7400	59000	430000	42000	330000
1981—1990	5900	47000	340000	33000	260000

数据源：Nriagu 1994

1900年之前的空气污染

在人类历史的大部分时间里，我们所制造的空气污染只能算是些许尘埃。接着在50万年前人类驾驭了火，点亮了地球景观，也将其他气体释放到大气圈中。尽管我们对火如此投入，但对大气的影响仍然有限。大气仍由千万亿微生物稳定的作用及偶尔出现的大规模火山爆发等自然过程所支配。

当人类占据洞穴，开始燃烧薪柴取暖煮食，室内污染就此开始。几千年前人类居住过的洞穴，壁面都因烟雾堆积而染色，当时穴居人应该因为暴露在烟雾中而饱受肺部与眼部疾病困扰。旧石器时代木乃伊的共通点就是染黑的肺部。人类开始建造住所后，通常还是无法解决通风问题，（或许是因为要驱赶蚊虫）只好住在一片室内烟雾中。[5]当时一些因污染所造成的健康影响，数千年后仍如影随形。

只有城市会造成后果严重的户外空气污染。早期的城市和现代一样，会因为腐烂的肉类、食物和粪便而散发出刺鼻的气味。被臭味笼罩的城市因为无法清理这些令人不快的气味源头，可能变得令人无法忍受。古埃及文献记载了一个实例：赫尔墨波利斯（Hermopolis）的居民因为受不了城内的气味，宁愿向围城的努比亚（Nubia）人投降。[6]古代的都市烟雾甚至染黑了大理石，不但让罗马诗人贺拉斯（Horace）这样的古典作家们抓狂，古代犹太人也因此制定大量相关法律。[7]初期空气污染史乃以烟雾和煤烟为主，而非微量气体。

古代冶金术带来了新的污染物，其中有些会在海洋与各大陆之间漂浮，这是区域性污染的首例。在古代的地中海地区，采矿与冶金在经济生活中扮演了重要角色。根据色诺芬和卢克莱修的说法，来自阿提卡地区银矿的有毒气体损害了人类健康。[8]铜与铅是主要的金属污染物。在罗马时期，瑞典、瑞士的沼泽以及格陵兰的冰核（ice core）都有可观的铅沉积物，约为背景比较值的10倍。检验格陵兰的冰层后发现，工业革命前铜排放到大气圈中的有毒气体数量曾两度上扬，一次是古地中海区引进钱币铸造之后，另一次则是中国宋朝年间（960—1279）经济市场化加强导致铜产量飙升。低效率的冶金技术，会让高达15%的溶解铜有

毒气体进入空气中。尽管当时铜产量不到现代水平的1%，罗马与宋朝时代铜的有毒气体总排放量，约为20世纪90年代的1/10。区域性（其实占了地球一半）的空气污染约有2500年的历史，至少就铜的有毒气体排放量而言，1875年以前的严重程度均不亚于古罗马与宋朝时代。[9]都市的空气污染随都市规模与人口密度而有所不同，端看当地的工业活动，特别是燃料的使用。由于公元1000年后中国、地中海盆地及西非加速都市化，大量人口居住在烟雾与煤烟当中。哲学家兼物理学家迈蒙尼德（Maimonides，1135—1204）曾游历从科尔多瓦（Córdoba）到开罗等诸多城市，他发现都会的空气“停滞、污浊、厚重且雾茫茫”，并且认为这会使都市居民“理解力迟钝、智力不足及记忆缺陷”。[10]

运输不便也限制了都会空气污染的程度：大部分需要燃烧的工业，例如瓷砖、玻璃、陶器、砖窑与冶铁，都设立在靠近森林的地方，因为大量运输燃料通常代价昂贵。因此大部分的工业污染只会弄脏人迹罕至地区的空气。[11]海港城市有时会出现例外，因为可通过船只以更低廉的价格运送木材或木炭。因此，威尼斯才能靠外地的木料供给，长期维持玻璃制造工业。中国的城市也曾因为水路运输系统发达而经历过严重污染，例如宋朝的首都开封。[12]但多数都会空气污染主要源自粪便或木头等家用燃料，有时还有无烟的木炭。

缺乏薪柴的海港城市，可改用煤炭作为家用燃料。13世纪的伦敦就少量改用煤炭，16世纪比例更高，将当地的空气污染史带入新的一页。家用煤炭让17世纪的伦敦空气一片煤烟，好似人间地狱，天色雾蒙蒙有如身处火山中——致命的烟雾侵蚀铁，损害所有会活动的物体，所到之处都覆盖上煤烟；损害居民肺部其致命程度之深，几乎没人能逃过咳嗽与肺病之苦。[13]

接下来的几个世纪里，由于人口增长造成炉床及烟囱数量增加，伦敦的空气质量仍然未见好转。英国诗人雪莱记录了这个有如炼狱的景象：

> 伦敦有如地狱，
> 一个人口稠密又烟雾弥漫的城市。[14]

同时期的诗人罗伯特·骚塞（Robert Southey）也不喜欢伦敦的空气，因而在1808年的诗作中将之描述成“沼泽雾气、炊烟、煤烟和碎马

粪的混合物”。[15]

1780年后煤炭崛起成为工业革命的主要燃料，污染的天空开始在英国其他地区萌芽，最后甚至向外扩大。1870年英国约有10万台以煤发动的蒸汽机，不断喷出烟雾及二氧化硫。[16]英格兰中部成了著名的“黑乡”（Black Country）。韦尔斯的斯旺西（Swansea）谷区铜冶炼工业产生的酸雨，破坏了植物生态。居民也深受其害：维多利亚时代英国有将近1/4的人口死亡与肺部疾病有关，大部分为支气管炎与肺结核，而这些疾病多半因为以微粒为主的空气污染而加剧，有时正是因为空气污染而染病。空气污染在维多利亚时代夺去英国人性命的数量，粗估约为20世纪90年代全球平均数字的4～7倍。[17]

1900年以来的空气污染

20世纪空气污染史有黑暗面也有光明面。现代空气污染诸多原因当中，最重要的当属燃烧化石燃料。在1900年，空气污染多由燃烧煤炭所造成，让天空中充满了烟雾、煤烟、二氧化硫与各种气味难闻的物质。煤造成的污染来自工厂烟囱及家用烟囱。自20世纪60年代以来，汽车尾气管挑战了工厂烟囱及家用烟囱的地位，到了1990年，道路交通已成为“全球最大的单一空气污染来源”。[18]污染的历史与工业化及汽车普及的历史亦步亦趋。

以燃煤为主的工业化从英国开始向外扩张，也随之带来空气污染。19世纪末第二次工业革命确立，并以钢、铁及化学物为主，还有取之不尽的煤炭。烟囱工业在欧洲成功崛起，其中尤以比利时与德国最盛；美国则有宾夕法尼亚州及俄亥俄州；沙皇时代的俄国以乌克兰为最；日本则为大坂附近。1800—1920年，以燃煤为主的工业也在印度、南非、澳大利亚等面积较小的孤立地区开始发展。20世纪10年代和20年代，北美与欧洲城市开始出现靠燃煤发电的输电网。在这些地方，烟雾、煤烟和二氧化硫笼罩了工业地区。[19]

许多人对此表示反感，尤其是负责操持家务和清洗床单的女性，[20]但随着空气污染带来的繁荣景气，即便引发反对声浪还是相当值得。匹兹堡地方政府要员及产业工会会员、德国工业领袖，还有俄国大臣，都认为不断冒烟的工业烟囱是进步、繁荣与权力的象征。正如芝加哥商人

伦德（W.P.Rend）在1892年所言："烟雾是工业祭坛上所焚烧的香。这在我看来很美。它代表人类正在改变大自然力量的潜力，让人类生活更为舒适。"[21]日本第一个大型钢铁城八幡，也在市歌中表达了同样的看法：

> 滚滚烟雾弥漫天际
>
> 我们的钢铁厂，雄伟无人能比
>
> 八幡啊八幡，我们的城市！[22]

以燃煤为主的工业化脚步，一直持续到1920年。这股趋势在欧洲及北美继续发展，但其他地方的成长更快。1929年之后苏联实施第一个五年计划，工业化因此以惊人速度迈进。斯大林巩固对东欧的掌控之后（1946—1948年），高度能源与污染密集的苏维埃式工业，在1948年到大约1970年扩散至波兰、捷克与匈牙利，同时也将触角伸至西伯利亚领土。日本约在1950年再度展开工业化，虽对石油依赖加深，但仍以煤为主。20世纪60年代与70年代，钢铁、造船、化学及其他高耗能的产业也在东亚其他地方崛起，尤其是韩国、中国台湾、马来西亚以及1978年后的中国大陆。在1980年前，上述地区可以说完全不重视空气污染管制。[23]

家用炉床及鼓风炉也都烧煤。随着都市人口增长，越来越多的人需要运输方便的燃料来取暖及煮食。都会家庭因为住处不易取得薪柴而选择燃煤，所以越来越多的城市步伦敦的后尘，以煤炭作为主要的家用燃料。西欧与北美东部城市也在1850年后开始转向煤炭。1890年后则轮到中国与美国中西部城市。[24]家用炉床通常燃烧效率极差，不但烟囱中有大量煤烟与烟雾，也会排放到安装有暖气的住屋里面。同时在工业与家用上使用煤炭，造就了污染严重的煤炭城市，比如伦敦、匹兹堡及大坂。

20世纪地方及区域空气污染背后第二只主要推手就是汽车。尾气管排放出各种污染物，其中有些会与阳光作用产生烟雾，有些则会使酸雨加剧，1921年之后甚至产生铅。[25]汽车普及的过程中曾三度出现铅数量大幅上扬。第一次发生在20世纪20年代的美国，当时由于装配生产线的新科技，让数百万美国人买得起汽车。一直到1950年，美国开车人口仍占全球半数以上。汽车也在西欧变得相当普遍（1950—1975）。以日本

为首的东亚汽车普及化则仍在进行当中（1960年迄今）。1997年中国仅有200万辆汽车。全球机动车总数量在1910年不到100万，在1930年达到约5000万，到了1955年便超越了1亿辆，1985年更达到5亿辆。1995年全球共有7.77亿辆小汽车、卡车及摩托车。[26]除此之外，人们开车的次数也日渐增加。在美国，汽车行驶总里程数在1950—1990年增长4倍（达1.9万亿英里）。所幸20世纪70年代汽车燃料效率提升，新科技也有助于降低尾气的排放量，[27]一氧化碳与铅的排放量大幅下降。但汽车仍继续排放其他污染物，举例来说，大气中多出的二氧化碳中即有5%来自汽车。[28]

20世纪工业化与汽车普及快速发展，空气污染总量却可能没有同步恶化。特别是在1945—1980年，许多城市大幅改善了空气质量。这其中有三重原因：经济、政治与地理。

首先是经济因素。1920年后全球燃料组合变得比较干净。石油在许多应用中均取代煤炭（以英联邦皇家海军为其中首项大宗），而这股风潮始于1910年，到1950年后更是明显。这主要源于价格因素：美洲与中东开发出大型油气田，加上油管与超大油轮等基础建设，价格在1945—1973年开始下滑。至于家用暖气、发电等其他用途，石油与天然气也取代了煤炭。另一个较不重要的因素是水力发电、核能等其他形式的商用能源崛起，进一步降低了煤炭的重要性。这股因为价格而带动燃料价格下滑的趋势，降低了来自工厂及家用烟囱的污染物，但并没有减少来自汽车尾气管的废气。

其次，污染在政治上所引发的反弹也收到效果。公民针对工业污染所发动的零星抗议是全球各地工业化的一部分，但在20世纪40年代以前，这对减少污染成效不大。圣刘易斯市在1940年成为第一个成功采用降低空气污染政策与技术的城市，这一做法在第二次世界大战后迅速普及。政治压力主要通过立法与新科技抑制了污染，而这股风潮主要发生在1966年后的美国、1970年以后的西欧与日本、1980年以后的韩国，还有1990年之后的东欧。通过政治减少空气污染，影响的范围包括工业烟囱、家用烟囱及汽车尾气管。

最后，地理方面的变化也减少了污染对人类的影响，甚至减少了污染总量。长久以来集中在少数邻近煤矿与铁矿地区［例如美国宾州西部或德国鲁尔（Ruhr）地区］的能源密集产业，在1960年后逐渐扩散到世界各地。除此之外，这些产业开始从城市外迁至工业区或“绿化区”（greenfield），这样污染所能影响的人数较少。当然，迁厂并不能

降低整体污染水平，而且会对过去污染所未及的生态产生危害。只有从人类、特别是城市居民的角度来看，才会觉得污染降低了。[29]经济、政治及地理的变革结合之下，为空气污染这片乌云带来了一丝希望。

某些案例降低铅排放的成效相当惊人。1921年，化学工程师托马斯·米奇利（Thomas Midgley，第3章将有更详细的介绍）发现把铅加入汽油能提高燃烧效率，防止发动机敲缸。两年后，被第一家销售商称为“上帝的礼物”的含铅汽油在俄亥俄州达顿（Dayton）上市。在接下来的半个世纪里，汽车大约消耗了25万亿兆公升（约合6万亿加仑）的含铅汽油，其中1/3出自美国。尽管1920年起舆论表示关心，政府也开始调查，但通用汽车与杜邦［DuPont，旗下合资子公司生产四乙铅（tetraethyl lead）］仍设法阻挠，因此美国直到20世纪70年代才针对汽油添加铅制定法规。但医学研究早就显示，多数美国人血液铅含量升高，而且这些铅都是来自汽油。类似的发现引发苏联在1967年于大都市禁止含铅汽油，对苏联来说是少见的在环保方面领先全球的做法。[30]1970年美国下令，1975年前加油站必须出售低铅汽油。日本企业率先针对美国这项法令而调整业务，从1972年起将汽车发动机改为适用低铅汽油。日本在1987年禁止含铅汽油。[31]因为相关制造商提出诉讼而延误，美国在20世纪70年代末期才渐渐禁用含铅汽油。西欧在20世纪80年代末期也遵循此一做法，其他国家则要到20世纪90年代。

1977—1994年，美国空气中的铅浓度减少了大约95%。通过检验很快就发现美国儿童血液中铅浓度大幅降低。历来测得最高的空气中铅浓度并非来自美国，而是20世纪80年代的曼谷、雅加达与墨西哥市。非洲与中国因为直到20世纪90年代末仍在使用含铅汽油，都市儿童血液中铅浓度足以造成各种健康问题。[32]全球大气中铅污染浓度下降的速度，则落后于美国及日本。

1945年后，富国大幅降低了都会中的煤炭烟雾、煤烟和灰尘；1975年后，二氧化硫、一氧化碳与部分其他污染物也都适度减少。这是因为从用煤转为使用石油（约在1920—1970年），以及节能防污等相关法规（主要在1970年之后）。20世纪初期在苏格兰工业之都格拉斯哥，污染烟雾严重时报社编辑甚至必须为讣闻版预留版面。直到1950年，格拉斯哥人每年仍吸入大约两磅的煤烟。但到了1990年，格拉斯哥已将黑烟、煤烟与二氧化硫污染降低了70%～95%，几个其他煤炭城市也创下类似佳绩。虽是一大成就，这一线曙光仍只局限在北美、西欧、澳大利亚、大洋洲及日本等地20个富国，只占全人类的1/8。[33]

测量污染的方法充满地雷。忽略重要的警告，我估计20世纪90年代全球地方与区域空气污染物排放量约为1900年的5倍。[34]在西方与日本，20世纪60年代末期之后空气污染水平开始下降（黑烟则于20世纪40年代之后）。过去一个世纪里这些国家是全球空气污染的大宗，1950年之后则改为东欧，1970年之后是东亚及比重较低的拉丁美洲，因此20世纪末全球空气污染仍持续加重。表2.3包含了这项粗略估计所根据的部分数据。

表2.3 20世纪部分空气污染物排放率（仅限于人为来源，1900—1990年）

污染物	影响地区	增加率	数据源
铜	全球	5	1
铅	全球	7	1
锌	全球	5	1
氧化氮	美国	9	2
氧化氮	全球	14	3
挥发性有机化合物	美国	2.7	2
二氧化硫	美国	2.2	2
二氧化硫	欧洲	2	4
二氧化硫	承德（中国北部）	10	5
二氧化硫	全球	5	6
臭氧[a]	欧洲	5	4
甲烷	全球	3.5	7

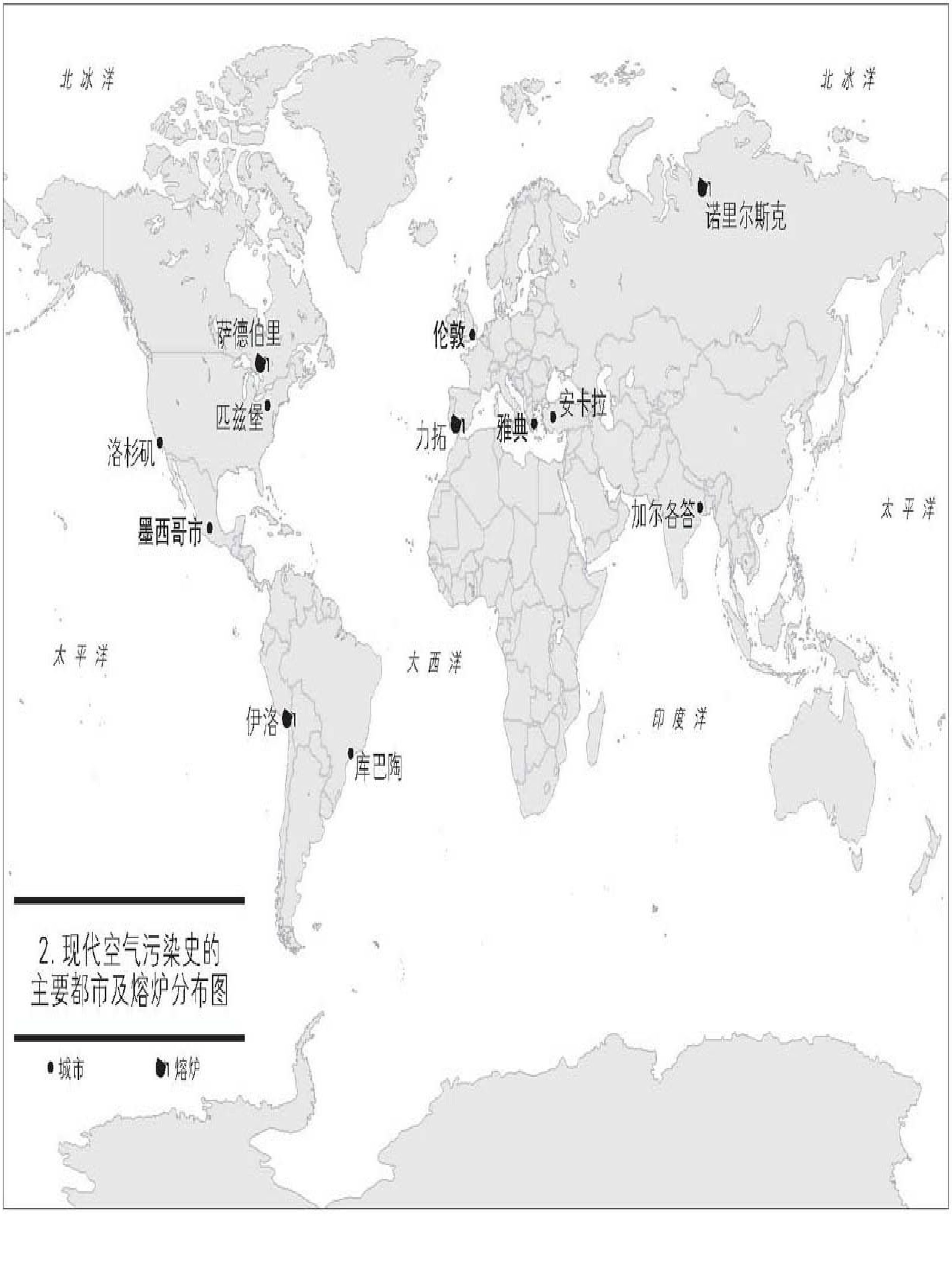
数据源：（1）Nriagu 1996；（2）USEPA 1995；（3）Smil 1990；

（4）Graedel and Crutzen 1990；（5）Jiang 1996；（6）Husar and Husar 1990；RIVM 1997和UNEP 1997：225；以及（7）Stern and Kaufman 1996

注a：指对流层臭氧。Graedel and Crutzen 1989认为1890—1989年欧洲增加了2～4倍。

煤炭城市

有两个极度依赖煤炭的城市后来戒掉了这种燃料，就是一度被称为“雾都”（Big Smoke）的伦敦，以及绰号“烟雾之城”（Smoke City）的匹兹堡。[35]



北冰洋
北冰洋
诺里尔斯克
萨德伯里
伦敦
匹兹堡
洛杉矶
力拓
雅典
安卡拉
墨西哥市
加尔各答
太平洋
太平洋
大西洋
印度洋
伊洛
库巴陶
2. 现代空气污染史的
主要都市及熔炉分布图
城市
熔炉


EUSTON
CHARING CROSS
VAUXHALL
CLAPHAM JUNCTION
WIMBLEDON
RAYNES PARK
TRAVEL

伦敦空气污染的历史极长，甚至可回溯到13世纪燃煤首度在伦敦家庭间普及。伦敦向来以雾著名，一部分就是因为燃煤烟尘所造成。1952年12月4—10日的一周期间，伦敦发生了全球纪录中最严重的空气污染灾难，造成4000人提早死亡。图为河岸街（the Strand）街景，中午时分即为硫黄烟雾笼罩。几年之内，伦敦大部分燃料都改为石油

伦敦　伦敦是维多利亚时代末期全球最大的城市（1900年人口660万），这个不断向外扩张的大都会里有数十万个烟囱、数千台蒸汽机，全部都烧煤炭。当时无人仔细监控空气污染，但从伦敦降雾（污染为部分原因）的频率来判断，1870—1900年的空气质量应该是最恶劣的。1873年的一场雾让人看不清前方路面，有些人因此误坠泰晤士河。这一期间有几千人因伦敦的雾而早逝，仅1879—1880年冬天就有约3000人，大多是因为肺部状况恶化。虽然1892—1948年并无因降雾致死的记录，但1909年格拉斯哥却有一场雾造成1063人死亡，此外1930年比利时列日附近河谷，则在数日内有70～100人死于严重污染。[36]减少黑烟的行动在伦敦有所进展，直到1950年都一直是反污染行动的焦点。伦敦都会区不断扩张，加上工业燃烧效率提高，均有助于分散及控制污染。但改革者不去碰触燃煤的家用炉床，因为它对于1950年前英国人的重要性，就好比汽车之于现代美国人。1945年，部分政府机关试图趁战后伦敦重建之际，建构一个无烟城市，乔治·奥威尔却以热切的形容词为炭火辩护，说它是生而自由的英国人与生俱来的权利。

1952年12月4—10日一场大雾夺走伦敦4000人性命，煤炭这种燃料因此步入绝路。严寒气候加上空气停滞，有上百万烟囱的黑烟盘绕在伦敦街道上方达一周之久，能见度几乎等于零。连健康的人都呼吸不顺，肺部有病的人常感觉命在旦夕。在20世纪，只有1918年一场流感疫情带走的人命数量可堪比拟。公众的抗议引发政府调查，最后造就了1956年的《清洁空气法》（*Clean Air Act*），大力规范家用煤炭黑烟。这使伦敦逐渐转向瓦斯与电热。伦敦断了对煤炭的依赖后，1956年以后几乎没有黑烟问题。当地的硫排放尽管到1972年才加以规范，也降低了90%（1962—1988年），主要是因为改用其他燃料。20世纪60年代后，伦敦空气质量受到汽车尾气的影响远超过烟囱排放。讽刺的是，20世纪50年代中期后变得干净的空气，使得更多阳光能够射进城市街道，与汽车尾气排放交互作用后形成光化学烟雾。伦敦人对开车权利的感情，不亚于奥威尔对煤炭炉火的感情。[37]

匹兹堡　1850—1900年，美国许多城市根据煤炭来打造能源系统。圣刘易斯及芝加哥利用南伊利诺伊伊州的烟煤（bituminous coal），匹兹堡及辛辛那提则仰赖宾州西部矿藏。这些城市都有污染问题，自1868

年起便开始制定降低烟雾法令。但这些措施仍无法满足需要，1940年以前每个地方仍为烟雾及硫污染所苦。1861年丽贝卡·哈丁·戴维斯（Rebecca Harding Davis）在其短篇小说《炼铁厂人生》（*Life in the IronMills*）一开头便写道：

> 阴暗多云的一天：你知道炼铁城市是什么样子吗？天还没亮天空就往下沉，污浊、无力且纹丝不动。这座城的特色就是黑烟。它会突然从炼铁厂的大型烟囱中缓缓冒出，然后落在泥泞街道上黑漆漆、黏糊糊的水坑中。码头上的黑烟、小艇上的黑烟、黄色河水中的黑烟，住屋门面、两株凋零的白杨木，还有过往行人的脸上，都黏着一层油腻的煤烟。[38]

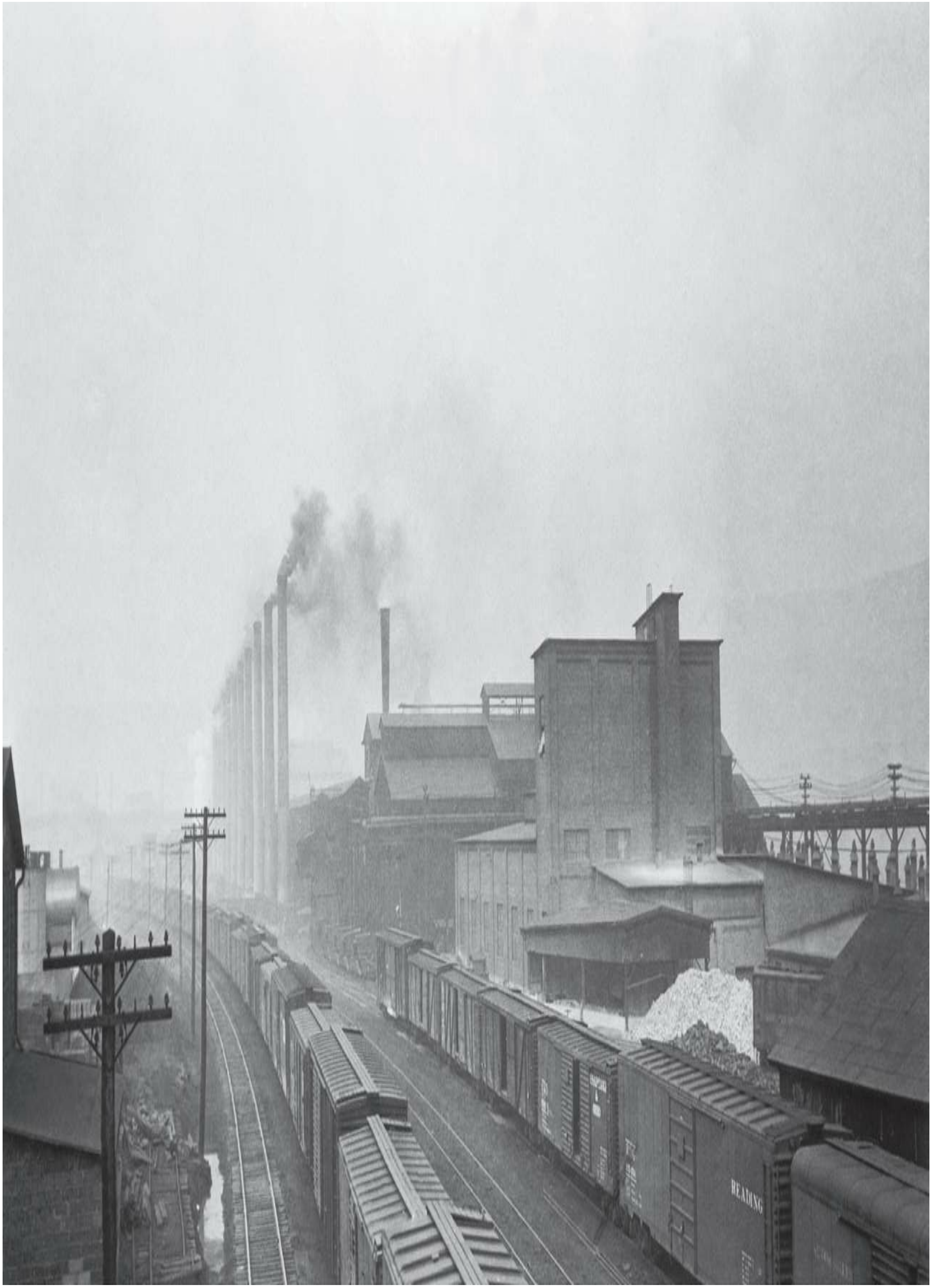
这段描述反映了戴维斯在西弗吉尼亚州惠灵（Wheeling）所度过的年轻岁月。1919年记者沃尔多·弗兰克（Waldo Frank）这样描述芝加哥："充满煤烟的天空不断下沉。天空就像一块污渍：空气中满是流动的油脂与黑烟。这片脏污的落尘覆盖了草原，像黑色的降雪，一场不停息的风暴。"[39]惠灵、芝加哥，还有其间众多工业城市，数十年间都因为煤炭黑烟而窒息。匹兹堡则是其中最严重者。

匹兹堡在1758年首度采用煤炭，当时它只是英国人在美洲殖民地屯垦区边缘的一个小型要塞。丰沛的煤炭供给让人舍木材而选择煤炭。南北战争结束时（1865年），美国有半数的玻璃与四成的铁来自匹兹堡地区的阿列格尼（Allegheny）。1866年有人造访当地看到黑烟后，形容这个拥有10万人口的城市是"一个掀了盖的地狱"。[40]接下来第二次工业革命降临匹兹堡，钢铁业也就此起飞。1884年，这座人口30万的城市共耗掉300万吨的煤，相当于全国的5%。1887—1891年的四年间，来自阿巴拉契亚山脉的天然气一度使得匹兹堡用煤量下降，当地天空也干净起来。但天然气供给用罄后再度恢复用煤，钢铁业兴盛的匹兹堡也随之扩张，黑烟再度死灰复燃。即使像安德鲁·卡内基（Andrew Carnegie）这个因经营燃煤钢铁厂而成为全球顶尖沃尔沃的人，也曾在1898年抱怨黑烟。降低黑烟的法令效果不彰。从19世纪90年代到20世纪40年代初，匹兹堡成了一座加盖密封的地狱。



著名工业家安德鲁·卡内基也曾抱怨匹兹堡空气污染状况，但他的钢铁王国也是造成当地烟尘与二氧化硫的部分原因。图中为卡内基位于宾夕法尼亚州布拉多克的钢铁厂，靠近匹兹堡，莫纳戈赫拉河上。本图约摄于1905年

对于匹兹堡的空气而言，战争同时是地狱也是救赎。1940年及1941年，在军方命令下钢铁产量大增，而且不论老旧或效率太低，所有堪用设备均须上阵，一开始便让匹兹堡的黑烟与污染问题雪上加霜。但1940年圣路易在工程师、市民及政府通力合作下制定出有效黑烟防制法的前例，匹兹堡也起而仿效。[41]1941年底当地通过类似法令。战争期间暂停实施，在煤炭利益团体、矿工联合会和铁路业者的反对下，法令仍于1946年从工厂开始实施，1947年则扩及家庭。匹兹堡改用比较干净的无烟煤、石油及以管道自得州输入的天然气。蒸汽火车头与内河船只也都改用电力或柴油。到了1953年，匹兹堡的空气比南北战争后任何时期都要干净，可能除了1887年与1891年以外。[42]20世纪50年代与60年代，匹兹堡的空气因为严格法令及更有效率的燃料使用而持续改善。接着在20世纪70年代中期过后钢铁业垮台，造成工厂关闭且人口下滑，而匹兹堡也不再是顶尖的制造业重镇，因此空气越来越干净。1985年，有份周刊还评定匹兹堡为美国最宜居的城市。


READING

1948年10月底，距离匹兹堡不远的宾州多诺拉（Donora）有20人因当地钢铁厂与锌熔炉所造成的严重空气污染而死亡。图为美国钢铁及电缆公司炼锌厂，直到1956年关厂前为多诺拉最大雇主。这家公司被控告索赔时，仍坚持烟雾是“天灾”。多诺拉是少数几个汽车有时会因为缺氧而熄火的城市之一，但到了20世纪50年代初期，当地及匹兹堡邻近地区致力于降低空气污染的努力，终于开始见到效果



正如伦敦、匹兹堡和其他工业城市，纽约直到1949年仍在使用煤炭，市内有数千座家用与工业用烟囱。图为帝国大厦顶楼东南方的景观。1970年纽约也追随圣刘易斯和匹兹堡，开始停止使用煤炭作为燃料，纽约人的呼吸也较为顺畅

伦敦与匹兹堡都经历过1900年或1930年当时居民所无法想象的转型。两者的转变约发生在同期，部分出于巧合但并不尽然。两地的转型都必须有替代燃料，这样才能造就清洁的能源系统而无须在经济上有所牺牲。转变过程中当然有人受害——煤炭货运工、烟囱清洁工、洗衣业者，却也造福了油管安装工人、电工及电器销售员。都会能源系统发生如此变革的数十年后，煤炭工业仍在英国与美国宾州存活了下来。两地都是因为分散化有利转型，也就是汽车普及后人口移至郊区。尽管整个集合城市区域并未大幅改变，但两个城市的人口都渐渐流失：伦敦人口高峰出现在1940年，匹兹堡则于1950年达到高点。美国与西欧数十个煤炭城市都依循着类似模式，数千万都市居民的生活因此得以改善。[43]

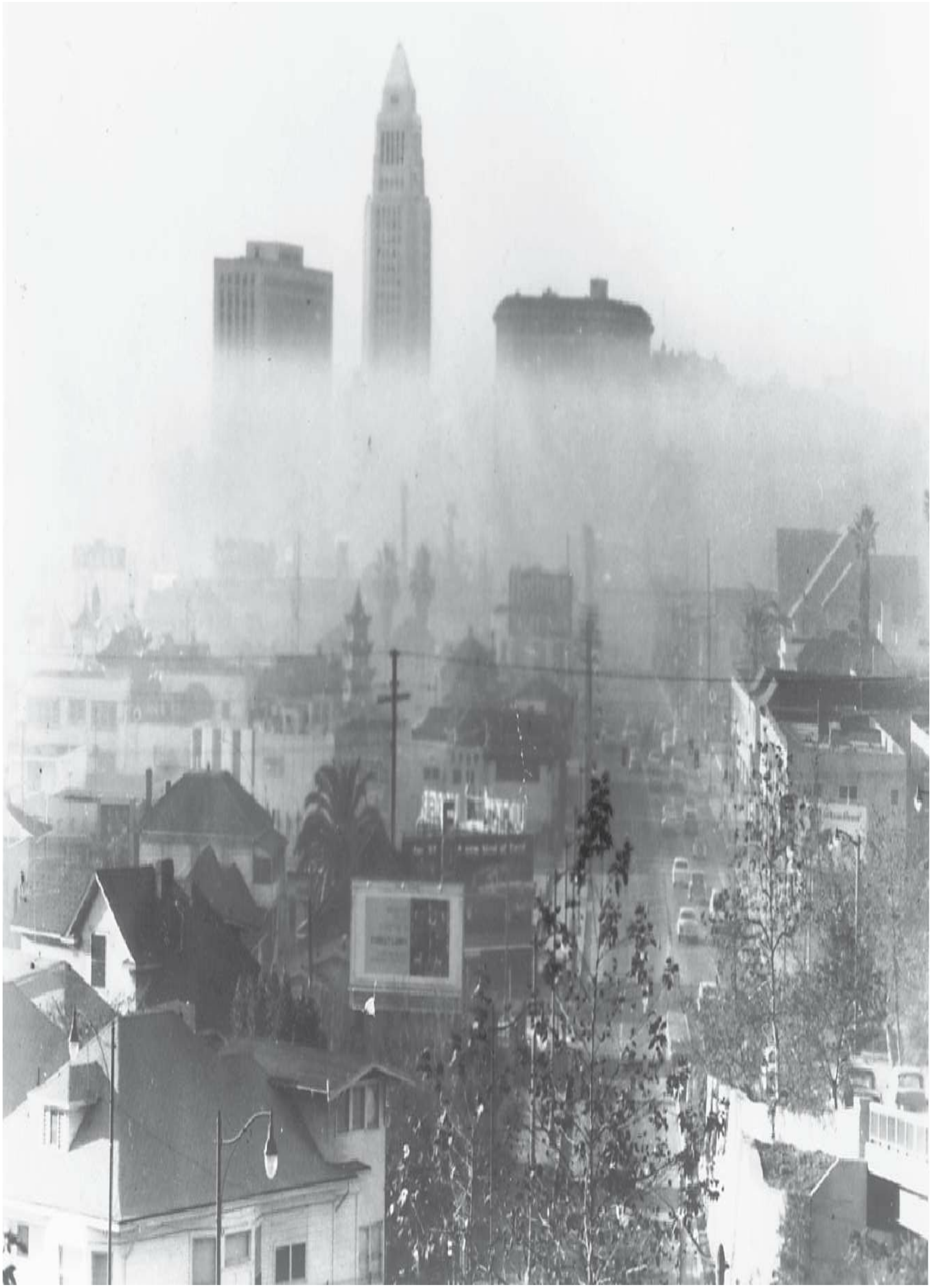
烟雾城市

“烟雾”（Smog）是在1905年由伦敦一名医生首创的名词，指黑烟（smoke）加上雾（fog），后来泛指任何由污染所引起的霾害，特别是阳光与氧化氮或碳氢化合物的交互作用。（我将以此限定意义使用此一名词）。这些污染物，也就是烟雾的前身，主要来自汽车尾气。但它们也可能来自燃烧生物量或工业燃烧。在阳光下这可能产生臭氧，也就是烟雾中最麻烦的成分。烟雾会造成人类眼部不适及肺部问题，也会损害植物。

地理因素对烟雾的形成也相当重要。它只会在日照充裕的地方产生，如有地形与风向配合使得污染物无法扩散，则情况更为严重。因此，阳光充足且四周有山的盆地城市最容易产生烟雾。墨西哥市就完全符合这些条件。其次为只符合地理标准的圣地亚哥、洛杉矶、雅典、德黑兰、成都和首尔。

洛杉矶 洛杉矶的光化学烟雾（photochemical smog），让人类在20世纪40年代初开始意识到这个问题。第二次世界大战期间，严重烟雾被误认为是日本发动的毒气攻击；不久之后，烟雾成了雷蒙德·钱德勒（Raymond Chandler）笔下小说等洛杉矶文学中经常出现的特色。[44]自

此之后，这就成了南加州最热门的申诉原因及政治议题。



在1966年之前，也就是大约在本图拍摄期间，洛杉矶的烟雾已经声名大噪。当年有约400万辆汽车，排出的废气污染了洛杉矶，影响大约上千万居民。洛杉矶是世上第一个有着大量汽车与充足日照的城市，烟雾也因此不断出现。自20世纪60年代起各界便合力控制烟雾，但效果有限。洛杉矶可说是专门为了开车而设计的城市，一般居民没有汽车根本活不下去

当地的地形与历史共同造就了这个问题。洛杉矶是一块小型的海岸平原，三面环山。这里每天都有海风吹拂，常会将前一天的污染吹回市区内，且经常出现逆温现象（thermal inversion），让污染无法向高空扩散。[45]如果不是化石燃料时代廉价能源的特色，美国西南部就不会出现大都市或烟雾的问题。廉价的能源及水源，让大洛杉矶地区人口从1900年的10万增至1930年的140万，1960年又上升至600万。[46]建设于1920年后的美国城市，都是因为汽车大量普及而兴起，其中尤以占地广大、公路密布的洛杉矶为甚。20世纪40年代，洛杉矶就像其他几个美国城市，开始拆除福斯火车系统好让位给汽车。洛杉矶的汽车数量在1950—1990年增加了4倍（达1100万辆）。洛杉矶这个为了汽车而打造的城市，成了最适合制造烟雾的场地。

烟雾在20世纪40年代成为政治议题。《洛杉矶时报》请圣刘易斯反烟雾活动主帅雷蒙德·塔克（Raymond Tucker），针对空气污染问题发动媒体攻势。1947年洛杉矶成立空气质量委员会，开始规范炼油厂、工厂，最后甚至扩及汽车。到了60年代，上千万居民一年当中受烟雾困扰的时间至少有好几百天，阻碍了至少80公里（50英里）范围内的树木生长。20世纪70年代初期法规更为严格，尽管汽车数量增加，洛杉矶盆地的臭氧与烟雾因此减少了大约一半。不过在1976年，四天之中仍有三天的空气质量达到官方所设定的危害健康水平。在20世纪90年代，洛杉矶烟雾对健康仍是一大危害，成为美国最严重的都会空气污染问题。[47]

雅典　雅典城建于汽车问世之前2500年。但当地还是有很严重的空气污染问题，数十年来雅典人称之为to nephos（希腊语中“云”的意思）。这个城市三面环山，另一面则靠海。春秋时节常见逆温现象。和洛杉矶一样，雅典也有适合烟雾形成的晴朗气候。

1834年雅典成为希腊首都后，逐渐发展为现代城市。1830—1920年人口从1.5万增长到50万，接着因为希腊在安纳托利亚（Anatolia）军事行动失利后难民涌入，雅典人口因此倍增。20世纪60年代初人口达200万，在1980年突破300万时，海洋与山区之间的所有土地都住满了人，占全国人口的1/3。

大雅典地区素为希腊工业重镇，特别是在比雷埃夫斯（Piraeus）附近。涂料、纸类、化学、制革、钢铁、造船等众多工业，1960年以前占希腊工业半数比重的工业都挤在这一首都地区。多数工厂规模不大，未登记注册且能源效率低。凭借着雅典西区燃烧化石燃料产生动力的发电厂，1950年后电气化出现倍数增长。[48]

家用暖气也是造成污染的来源之一。1920年雅典人仍以烧柴与木炭为主，但后来逐渐仰赖进口煤炭，直到1931年爆发经济大萧条。后来又有第二次世界大战及希腊内战（1940—1949年）搅局，希腊人才改以进口石油及本地产褐煤（lignite，一种相当肮脏的煤）作为主要能源。[49]在1965年以前，工业与家用烟囱为雅典污染的最大来源，以黑烟及二氧化硫为主要污染物。但这还不是最糟糕的时代。

1955年后汽车大举入侵雅典。雅典的地铁（为全球最早的地铁之一）直到1997年都只行驶一线：因为对大部分的雅典人来说，没有交通工具比得上地面运输。1965年当地有十万辆汽车，到1983年达到百万。由于希腊人不常换车，当地车辆多半是老爷车，在雅典明亮的阳光下排放出特殊的烟雾成分。[50]由于都会增长超过预期，造就了有如迷宫的街道模式，交通因此经常堵塞。午睡的传统代表雅典每天有四次交通高峰。1975年，不管任何时段，雅典街上的汽车多半停在空挡，发动机空转等待交通净空。20世纪90年代末期，雅典公交车（多半进口自东欧）成了恶名昭彰的污染来源。种种情况都让每辆汽车的平均废气排放量达到最高。

至少从20世纪30年代起，[51]雅典偶尔会有霾害阻绝能见度的现象，但“to nephos”只出现在20世纪70年代。烟雾及二氧化硫含量确实在1977年后下滑，相关规范造成了不小的政治挑战。但烟雾的问题仍旧存在，而且1975年后雅典经济景气大好，以致多数家庭有意购车，问题因此加剧。最惨的一次发生在1987年一波热浪来袭，死亡人数因此增加约2000人。20世纪80年代末的臭氧含量，是1900—1940年的两倍。[52]控制汽车数量成了比抑制烟雾与硫排放更为严峻的政治挑战。

To nephos在1981年大选期间成为希腊政治议题，当时社会主义党派（PASOK）竟承诺要在三年内根除空气污染问题，希望借此骗取选票（仅占雅典选区一小部分）。社会主义党获胜后限制工业燃料使用（1982年）、引进低铅汽油（1983年），并制定法令规定依车牌号码奇数或偶数排序，每隔一天才能开车进入市中心（1983年）。[53]富有的雅典人以购买第二辆车来应对。20世纪90年代初开始检查排放量。一连串

措施仍嫌不足，部分原因是雅典地理条件不佳，另一方面是因为反污染规定执行不力。[54]到了20世纪90年代初期，雅典的烟雾是洛杉矶的2～6倍。[55]

洛杉矶、雅典或其他地方的都会烟雾问题迟迟无法解决，是因为多数市民宁愿开着车吸入烟雾，也不愿限制开车而享受较少的烟雾。这个问题之所以挥之不去，也由于居民在以下两方面选择不多：当地公共运输系统不佳，汽车发动机技术也还不完善。

超大城市

1950年之后，在农村人口外移及都市自然的人口增长两项因素结合下，造就了人类体验全新的一章。在1950年，全球只有三个大型都会区人口接近（或超过）千万：伦敦、纽约及东京横滨地区。到了1997年有20个城市人口超过千万，大部分属于法规不明、政治不稳且公共财政经费不足的社会。都会发展的速度超过基础建设。在这种状况下污染相当难以控制。

墨西哥市　　阿兹特克人在1325年选择了特诺奇蒂特兰（Tenochtitlán）这个雄伟的城市作为首都，但这个决定却害惨了他们的后代。[56]从空气污染的观点来看，墨西哥市地处边缘陡峭的盆地，在地形上就是一个错误。每年11月到次年5月期间，约有50%～80%的日子会出现逆温现象。由于海拔超过2200米，汽车行驶的效率不佳，因而产生更多污染物，而且因为氧气稀薄，也加剧了臭氧与一氧化碳对健康的负面影响。当地阳光充足也有利烟雾产生。

有很长一段期间这些都不是问题。1803年，当地空气的清洁度让德国科学家亚历山大·冯·洪堡（Alexander von Humboldt）印象深刻，之后一个半世纪也维持如此罕见的纯净空气。[57]1900年墨西哥市有35万居民，比匹兹堡少了很多。从表2.4可看出，20世纪当地人口增长了6倍。

表2.4 墨西哥市人口（1900—1997年）

年份	人口（单位：万）
1900	35
1920	47
1940	180
1960	520
1980	1400
1997	≈ 2000

数据源：Ezcurra 1990b；Mitchell 1993a

墨西哥市也经历工业化，1930年当地占全国工业比重的7%，到了1980年已超过30%。人口的增长与工业的发展，反映出墨西哥革命（1910—1920年）后领导阶层实行中央集权的野心。到1990年此地区已有3万家工厂，其中4000家燃烧的是墨西哥含硫量极高的石油燃料。[58]

墨西哥市也转向汽车运输。汽车数量从1950年大约10万辆，增加到1980年的200万辆，1994年甚至超过400万辆。20世纪80年代，墨西哥的空气污染物有85%为机动车排放尾气，其中2/3来自汽车，剩下的来自卡车与公交车。而拥有化石燃料工业的政府，多年来并不鼓励节约能源。汽油税只有日本的1/10，荷兰或意大利的1/20。

在这些因素结合下，多数观察家认定全球最严重的都会污染问题就此产生。在20世纪70年代，墨西哥市的二氧化硫浓度通常是世界卫生组织（WHO）设定标准的1～4倍，偶尔会达到“安全”浓度的10～15倍。[59]20世纪80年代只略为攀升：大量使用天然气抵消了都市成长的部分效应。从1975—1990年，尘埃与煤烟变得比世界卫生组织标准更浓上2倍，到大约3倍或6倍。[60]从1965—1985年，空气中的铅倍增至墨西哥法定上限的5倍，导致1986年引进低铅汽油。不幸的是这种新汽油所含的添加物，让臭氧的问题更加严重。

墨西哥市有市民因空气污染而哮喘，甚至死亡，[61]情况跟其他都会人口一样严重。有时学校甚至因为臭氧警报而停课。谨慎的家长会让孩子戴上医用口罩，并在污染高峰时段尽量待在室内。附近山区的植被也深受其害，影响了当地的水平衡。墨西哥市西南边杉木林的年轮显示，20世纪60年代开始当地树木生长大幅减缓；到了1993年，污染已经导致1/3的杉木死亡。1985年的一场严重污染事件中，许多鸟儿在飞往墨西哥城最大广场宪法广场（Zócalo）途中，竟纷纷坠地。[62]

墨西哥市的空气污染对策包括以下几项措施：鼓励工业外移（1978年以后）、引进低铅汽油（1986年以后）、自发性汽车检验（1988年以后）以及不久即实施的强制检验（1989年）、汽车上路限制（1991年以后）、重新造林，还有以卡通人物为主角的宣传活动，劝导小朋友节约能源及用水。即使是青苔都被列入法令保护。联合国甚至两度颁奖给墨西哥市，表彰其对抗污染的努力。

到了1990年左右，当地空气停止恶化，以某些标准而言甚至可以说有所改善。1990年之后，二氧化硫、一氧化碳及铅的浓度不再随时超标。但其他的污染物（以臭氧为主），使1991—1995年该市空气违反国际标准。[63]过快的人口增长，以及增长速度还算普通的汽车普及化，再加上阿兹特克人选择此地作为首都，还有墨西哥革命所承诺的中央集权，即使是最严苛的反污染政策都治理不了墨西哥城的空气污染。数百年的历史，不是公共政策能够轻易改变的。

加尔各答　从某些方面来说，加尔各答的空气污染是全球最为严重的。[64]它在19世纪末成为维多利亚时代的煤炭城市之一，到20世纪末更进化成一个典型的超大城市，人口（1997年约1500万）增长的速度超过基础建设与公共服务系统。1903年后当地在规范烟雾方面相当成功，但整个城市的扩张还是超过了污染控制的能力。

加尔各答人口从1900年约100万，增长到1950年逼近500万，到1980年又翻了一番。产生这些变化的主因是人口自然增加、农村人口外移，还有1947—1948年印巴分治，及1970—1971年印巴战争所带来政治暴力下的难民潮。这座城市临近西孟加拉邦煤田，1880年后成为印度一大工业城市。当地发展出许多高污染工业，包括制铁与制钢、玻璃、黄麻、化学与造纸，直到20世纪40年代仍使用孟加拉国高灰分（但低硫）的煤炭供给能源。

加尔各答在冬季月份常见风平浪静与逆温现象，因此经常造成空气

停滞。18世纪到此拜访的游人已开始抱怨空气质量，但其实是通往孟加拉国煤田铁路开通（1855年）让加尔各答转型为煤炭城市。黄麻与棉花厂带头污染空气，但霾害主要还是蒸汽火车头、汽船、家用炉床与制煤造成。到了20世纪20年代，加尔各答有2500具燃煤的蒸气锅炉。气候温和时黑烟滞留不去，死亡率因而增加三倍。

管制煤炭黑烟的法令于1863年首度通过，但难以实行，直到致力改革的印度总督寇松勋爵（Lord Curzon，1859—1925年）上任才成立黑烟检查单位（1903年）。寇松向孟加拉国商会表示，黑烟“以粗俗的焦黑笔触玷污了正午的天空，让日落变成一片阴沉”。[65]在1906年到1912年，加尔各答市内竖立起无数烟囱，在肉眼可见的地面高度，黑烟因此减少大约90%。在20世纪20年代，黑烟检察单位装设了屋顶了望台，在工厂烟囱排出浓厚黑烟时，可通过电话告诫工厂管理人员，黑烟因此再度大幅减少。

“不论过去还是以后，世上可能没有一个工业城市的污染通知系统设计如此雄心勃勃，范围如此周详，惩罚的效果如此具有穿透力。”[66]印度殖民政府（1911年上任）独裁的权力，让推行黑烟管制比伦敦或匹兹堡更加容易，因为这些地方的煤炭相关利益团体都拥有极大的权力。寇松认为黑烟是西方文明这块招牌上的一个污点，对宣传帝国主义的好处相当不利，因此必须铲除。

随着20世纪20年代后工业黑烟排放获得控制，加尔各答有段时间终于得以喘息。但由于1950年后人口增长加速，黑烟问题死灰复燃。尽管使用的是低硫煤炭，20世纪70年代加尔各答的二氧化硫浓度仍增加了两倍以上，超过世界卫生组织标准25%。但加尔各答最严重的空气污染其实来自家用煤炭所造成的落尘与煤烟，而非二氧化硫。20世纪70年代当地的落尘与煤烟数据飙升，后来固定在世界卫生组织标准的3～10倍。1975年后，人类肺部吸进加尔各答空气，相当于每天吸一包印度制香烟。20世纪80年代，将近2/3的人口因空气污染（以微粒为主）而深受肺部疾病之苦。尽管工业使用的煤炭数量（1990年为200万吨）远远超过家用，但在家中使用煤炭对健康所造成的伤害，可能不亚于工业排放。加尔各答家家户户几乎都用煤炭煮食，女性与儿童做饭时都会吸入煤烟及灰尘，鲜少下厨的男性呼吸到的空气较为新鲜。

在1980年以前，机动车对加尔各答空气污染问题的贡献不大。1980年后，汽车数量每6年便增加一倍，在1992年达到50万辆。由于汽车排放标准不明，再加上日照充足，据估计臭氧数字也快速增长（当时并无

相关数据）。在1991年之后，印度政府降低保护门槛实施经济开放，新富阶级因而在加尔各答等地蹿起，由于这些人急欲拥有私家车，汽车尾气对加尔各答空气污染的贡献也越来越大。人口增长、规范家用燃料的困难，还有无可避免的汽车普及化，让一个世纪前肆虐加尔各答的阴郁天空再度出现。

大体来说，全球各地的超大城市都会在发展期间造成空气污染问题。那些位于富有、稳定与科技先进社会中的都市，均在1970年后大幅降低污染数据。由于汽车尾气加入工业及家用烟囱成为污染来源，其他城市的状况多半更加恶化。最严重的问题发生在地理位置不佳的城市。北京、开罗与卡拉奇不但饱受沙漠尘土之苦，还有严重的人为污染源；墨西哥市与首尔则有通风不良的问题。在20世纪90年代初期，墨西哥市的空气是所有超大城市中最糟糕的。北京、上海、首尔与开罗都是亚军候选，但情况稍佳。达喀尔（孟加拉国）、拉各斯（尼日尔利亚）及其他几个超大城市的监控管理严重不足，以至于没人知道当地空气污染水平应如何归类。[67]

复原中的城市

尽管墨西哥市与加尔各答改善空气质量的成效有限或无法持久，但有些规模较小的城市则表现较佳。

安卡拉 20世纪20年代，安卡拉成为土耳其首都之时是个人口仅3万的静谧省城。由凯末尔所领导的土耳其革命，与墨西哥革命一样具有中央集权的倾向。从1920年到1980年，安卡拉人口每十年便翻一番。虽然地处浅型盆地且冬季常有逆温现象，但在20世纪60年代前安卡拉并无明显空气污染问题。1970年安卡拉的人口达到100万左右，废气排放开始超过门槛，主要是因为发电厂与家用褐煤的二氧化硫、黑烟与煤烟问题日益严重。1973年后油价高涨，迫使土耳其开采自有褐煤，但其中却有含量很高的硫及灰土。安卡拉成了土耳其国内空气最糟的地方。到了1990年当地人口达到400万，还有50万辆机动车，至少在冬季，空气质量可称得上是全球最糟。20世纪90年代初期，因为土耳其长期努力达到欧盟标准以期加入欧盟，安卡拉开始加强污染管制，并改以油管运送来自西伯利亚的天然气。尽管都会规模持续增长，当地空气已获大幅改善。[68]

库巴陶 坐落在海洋与陡峭断崖［马尔山（Serra do Mar）］之间，巴西的库巴陶（Cubatão）邻近圣保罗（São Paulo），距离桑托斯（Santos）港口更近。1950年当地以香蕉园及红树林沼泽地为主，但因为具有水力发电潜力且邻近港口，很快就变成国家扶植工业化的目标之一。这在巴西20世纪60年代和70年代景气大好时大获成功。1980年库巴陶人口已达10万，生产了全巴西40%的钢铁与肥料，全国税收更有7%为其所贡献，但也赢得了“死亡之谷”的名号。当地婴儿死亡率为圣保罗州平均值的10倍；35%的婴儿在一岁生日前便告夭折。1980年，当地煤烟及落尘（总悬浮微粒）平均值为全州“警戒状态”水平的两倍。库巴陶当地找不到鸟，据说连昆虫都没有，[69]树木也只剩黑漆漆的树干。在库巴陶最穷困且污染最为严重的帕里西村（Villa Parisi），一处出租房里的实验室白鼠在1986年一场严重污染下存活，但呼吸系统却出现严重不良反应。[70]酸雨杀死了马尔山山坡上的植物，造成山崩。小区居民只好撤离。许多观察家认为库巴陶是地球上污染最严重的地方，不过这个头衔还有很多城市抢着角逐。

经过一连串的纷扰与否认，有关当局终于在媒体不断骚扰、民众抗议及数起致命的工业事故后有所回应，特别是军事统治（1964—1985年）告终后，对国家发展模式存疑的人不再害怕发声。在法规、罚款与新科技的影响下，1984年污染数据开始下降，到1987年已降至先前水平的20%～30%。到了20世纪90年代末期，山坡重新长出树木，部分化学工厂的废水池里甚至有鲤鱼游动。库巴陶的空气并不比圣保罗更差，虽说质量依旧不佳，但已经比过去好很多。现代化在库巴陶造成了工业污染，但只要实行民主并适当给予压力，还是能够加以驯服。[71]

安卡拉与库巴陶都在空气污染问题首度出现后的20～30年内开始正视这个问题。相较之下伦敦与匹兹堡似乎较为落后。但相对于墨西哥市或加尔各答，安卡拉及库巴陶的问题比较简单。两个城市都不必管制车辆、侵犯人民的既有权利或强迫市民做出牺牲。

结论

在1950年后，越来越多的人住在像墨西哥市及加尔各答这样的城市里。1998年，世界卫生组织估计全球都市居民高达18亿人，其中有超过10亿人所呼吸的空气中，二氧化硫及煤烟或尘土的含量达到有害健康的

标准。[72]这种帮助伦敦、匹兹堡和西欧、北美和日本等地数十个城市重获清洁空气的公民、科学与政治的综合治理效果，证明用在超大城市时效果难以确定。城市实在发展得太快了。公民的责任感因此受到影响，因为比起目前所居住的城市，许多市民更加认同原本出身的小村镇。即使已形诸文字，法规也难以执行。经济发展优先于其他事务。或许最重要的是，这样的成长酿成诸多社会病态，威胁到穷人的健康及权贵的安全；相较于这样的氛围，降低空气污染无法赢得应得的注意、努力及资源。因此从布宜诺斯艾利斯到北京，从加拉卡斯（Caracas）到卡拉奇，都会的空气污染迟迟无法散去。

[1]遵循一般用法，我将以“酸雨”一词代表所有经由雨水、雪、雾或任何干性的酸性沉积物。

[2]Turco 1997可作为相当有用之初级参考数据。

[3]大气圈臭氧空洞是个例外。较低的10千米高度内是对流层，10～45千米为大气圈。细节请见Salstein 1995。

[4]Nriagu 1994.

[5]目前确实仍有数百万人为此所苦，尤其是在室内燃烧生质燃料的地方（见Brimblecombe 1995）。1982年我在尼泊尔低地一处小屋度过了一个难忘的午后，因为不想冒犯主人但想避开那让我双眼刺痛的烟雾，而在屋内屋外进进出出。招待我的主人已习惯了烟雾，反而对我坐立不安一事感到奇怪。

[6]此文献为公元前734年匹安赫王（King Piankhy）胜利石碑［M.Lichtheim,Ancient Egyptian Literature.III.The Late Period（Berkeley：University of California Press,1980），cited in Brimblecombe 1995］。

[7]Mamane 1987.

[8]请见Weeber 1990。

[9]Hong et al.1996。这篇论文首次尝试重建历史上铜排放情形，因此结论需视为实验性质。德国泥炭沼的研究结果也显示中世纪与罗马时期的铅与铜污染量最高（Gorres et al.1995；同时请见Nriagu 1990a and 1996）。历史地球化学分析让我们有可能了解对人类历史相当重要的冶金与采矿史。化学家同时还可在鸟类羽毛、鱼刺、鹿角及人类毛发中找到过去冶金与污染的踪迹。

[10]Turco 1997：137所引述。

[11]在捷克偏远的苏马瓦山区（Sumava Mountains），铜与铅的有毒气体排放在1640年后大幅上扬（Veseley et al.1993）。（11世纪）中国北方煤用量的上扬，大量供给了乡间铸铁熔炉（Hartwell 1967）。

[12]Hartwell 1967。就我记忆所及，开封（距离北京约500千米）是全球第一个从以木材为主要能源转换为煤的城市。这样的转变发生在11世纪，当时开封约有上百万居民，但以煤为主的机制并未持久，因为开封城在（1126年）蒙古人入侵及13世纪初的疫病影响下几乎全毁。

[13]John Evelyn,Fumiugium（1661），Brimblecombe 1987：47–8所引述。

[14]出自诗作Peter Bell the Third,pt.2,stanza 1。

[15]Grimmett and Currie 1991：5引述。

[16]Clapp 1994：20。英国煤炭含1%～2%的硫；有些煤含量达4%。

[17]Clapp 1994：64–68。很明显约有1/5的支气管炎死亡案例是“源自大气圈污染”（68）。如果肺结核也有同样比例，1840—1900年因空气污染染上这两种疾病而死亡的人数约有140万。如果空气污染仅增加10%的肺结核死亡案例，那么寿命减短的总人数可能比较接近80万（根据Mitchell 1978相当重要的一项统计调查结果估算，1840—1900年约有2800万人死于各种原因。）有关20世纪90年代都市空气污染死亡率，请见Hall 1995及Murray and Lopez 1996,summary：28。

[18]Walsh 1990：217；同时请见WRI 1996：86。

[19]1911年美国地质调查所（U.S.Geological Survey）估计烟雾每年造成美国经济损失5亿美元，相当于财产税总金额（Rosen 1995：354）。Cioc 1998则针对煤炭对德国环境影响发表看法。

[20]有关第一次世界大战前女性在美国降低烟雾运动中所扮演的角色，请见Stradling 1996、Platt 1995及Tarr and Zimring 1997。至于约克郡（英国）请见Brimblecombe and Bowler 1992。有关八幡（日本）请见Morris-Suzuki 1994。

[21]Rosen 1995：385–6所引述。

[22]Tsuru 1989：19.

[23]Fang and Chen 1996；Srinanda 1984.

[24]Locke and Bertine 1986分析了磁铁矿，发现了微量的烟雾与二氧化硫。他们的结论是，在新英格兰与美国中大西洋地区，煤炭应用在1850年之后变得普遍，密歇根湖附近地区则要到1890年之后。这或许与木材短缺有关：1890年以前密歇根湖附近已经被砍伐一空。

[25]公路交通会产生一氧化碳、氧化氮及碳氢化合物。在1980年，富国约有2/3的一氧化碳来自汽车；氧化氮的比例为47%、碳氢化合物为39%。20世纪80年代美国约有13%的氯氟碳化合物用于车辆（Walsh 1990：217–8）。

[26]精确数据请见Walsh 1990；1995年数据摘自《经济学人》，22 June 1996。

[27]在经济合作发展组织（OECD），总里程数在1970年到1990年增为原来两倍，至7万亿千米，但汽油用量仅增加10%（OECD 1995：40,46）。

[28]请见《经济学人》题为Living with the Car之调查，22 June 1996。

[29]这代表有一部分恢复到1000年前的模式，也就是污染工业群聚在森林地带以邻近燃料供给。但这也意味着更多的人开车，且来往新工业区的距离更长。

[30]Thomas 1995：305.

[31]1949—1970年，日本的铅污染因为引进含铅汽油而增加约1000倍（Satake et al.1996）。

[32]低度铅中毒会造成的疾病包括“新陈代谢失调、神经心理缺陷、听力丧失、生长发育迟钝”。请见Nriagu 1990a,1990b；Rosner and Markowitz 1985；以及USEPA 1995。关于中国，请见Shen et al.1996；非洲，Nriagu,et al.1996a及1996b。即使格陵兰的冰核也能看出北美与欧洲改用低铅燃料。1990年格陵兰冰层中的空气泡泡所含的铅，低于大约1820年以后任何时间（Tolba and El-Kholy 1992：17）。四乙铅的主要制造商为通用汽车所有，因此后者有动机制造需要汽油铅含量较高的高压缩比发动机。1948—1968年，美国车辆平均每一千米使用的铅攀升了80%。

[33]格拉斯哥相关信息请见MacDonald et al.1993。

[34]这项数据之所以粗略原因有二：（1）数据并不完整且可信度不一，特别是1970年之前的拉丁美洲、非洲与印度数据相当稀少；（2）这是苹果与橘子的问题，例如要如何比较黑烟与铅这两种污染物。

[35]伦敦资料来自Brimblecombe 1987、Eggleston et al.1992与Stradling and Thorsheim 1999；匹兹堡资料来自Davidson 1979 and Tarr 1996。

[36]Zirnstein 1994：307.

[37]1991年因汽车尾气及温度逆转引发一场大雾，12月的一周之内伦敦死亡率上升10%（《经济学人》，17 September 1994：91）。

[38]Jean Pfaelzer,ed.,1995,A Rebecca Harding Davis Reader（Pittsburgh：University of Pittsburgh Press）：3.

[39]Our America：117，Cronon 1991：12引述。在19世纪末造访芝加哥的吉卜林，形容当地“空气有如泥土”（Cronon 1991：392引述）。

[40]James Parton，Davidson 1979：1037引述。

[41]有关圣路易请见Tarr and Zimring 1997。芝加哥、辛辛那提、堪萨斯城等城市在20世纪40年代末追随了圣路易与匹兹堡的脚步。

[42]讽刺的是纪录中美国最严重的空气污染事件，竟然发生在匹兹堡空气变干净后：在距离匹兹堡30千米的多诺拉（Donora），汽车常因缺氧而熄火。1948年10月，来自钢铁厂及锌熔炉的污浊空气因气候久久未能散去，造成20人死亡，6000人生病（当地总人口仅1.3万）。请见Snyder 1994。

[43]Eggleston et al.1992；Powell and Wharton 1982；Schulze 1993：Stern 1982：有关法国请见Herz 1989。贝尔法斯特（Belfast）是个特例，直到20世纪90年代都还持续用煤，当地二氧化硫含量也并未减少。油管铺设并未扩及爱尔兰。

[44]Brimblecombe 1995.

[45]当一层暖空气漂浮在冷空气之上，就会产生逆温现象。这使得空气状况异常稳定，抑制空气的垂直混合（以及污染物消散）。

[46]此数据涵盖洛杉矶及长堤大都会地区（from Mitchell 1993）。

[47]20世纪90年代初期在南加州，仅微粒带走的人命就有汽车死亡人数的大约一半（Lents and Kelly 1993;Levinson 1992：19–26;Turco 1997：148–63;WRI 1996：68–9）。1992年一辆新车所排放的污染物，只有1970年新车的10%。

[48]有关比雷埃夫斯发展史，请见Sorocos 1985 and Leontidou 1990。

[49]Pelekasi and Skourtos 1992：24。1997年雅典由来自俄罗斯的管线开始采用天然气。希腊是欧盟中最后一个在能源组合中加入天然气的国家。

[50]雅典汽车数量及使用年份请见Pattas et al.1994，Katsoulis 1996的数据则略有不同。由于维修价格低廉且购物税高，希腊人汽车使用年份为欧盟平均数字的2倍。3/4的汽车开了20年后仍在行驶。1990—1997年期间，政府推出鼓励措施试图更新车辆，颇为见效。

[51]Papaioanniou 1967。在此之前偶尔会有沙尘暴袭击该城。Klidonas 1993：85–6记述了1931—1984年间雅典能见度降低的情况。

[52]Cartalis and Varotsos 1994.

[53]希腊与雅典的空气污染法规请见Pelekasi and Skourtos 1992：90–122。达到警戒标准的空气污染从限制车辆的区域延伸到郊区。出租车司机大力反对。Dede 1993则在政治经济架构下探讨希腊环保法规。

[54]Klidonas 1993：92–4.

[55]Mantis and Repapis 1992；Sifakis 1991。请见Moussiopulos et al.1995诸多论文，以及Atmospheric Environment,1995,29：3573–719内10篇技术性论文。然而，雅典的一氧化碳浓度确实在1986年后降低（Viras et al.1995）。至于对健康的影响，请见Katsouyanni et al.1990 and Pantazopoulou et al.1995。高污染时代（1975—1982年）雅典人死亡率特别之高。

[56]以下乃根据Ezcurra 1990a，1990b；Ezcurra and Mazari-Hiriart 1996；Levinson 1992：27–36；以及WHO/UNEP 1992：155–64。

[57]除非在早春时分，风会把18世纪末已干涸湖床的落尘吹进城市里（Garfias and González 1992）。1923年作家阿方索·雷耶斯（Alfonso Reyes）说墨西哥“空气清净了”（la región más transparente del aire）。1940年他抱怨这说法已经不正确了。直到20世纪50年代，卡洛斯·富恩特斯（Carlos Fuentes）借用这个说法当作他其中一本小说的书名，但后来用以形容墨西哥市越来越不恰当。在1937—1966年，墨西哥市的能见度由15千米减至5千米，之后则更糟。（Vizcaíno Murray 1975：109,119）

[58]Garza Villareal 1985：133–94.

[59]世界卫生组织规定为每平方米30～70微克，墨西哥市偶尔会达到900。没有人知道“安全”到底是什么，这个名词对不同事物或人来说意义也大不相同。

[60]世界卫生组织标准为60～90微克总悬浮微粒。

[61]根据世界资源协会（World Resources Institute）统计，20世纪90年代初期悬浮微粒物质每年造成6400人死亡（WRI 1996：22）。1990年左右墨西哥市因空气污染所造成的健康成本（治疗、工资损失、早亡）达11亿美元，相当于墨西哥GDP的0.2%。WRI 1996：24–5指出，微粒每年造成墨西哥市1.25万人死亡，工作日损失1100万。

[62]《华尔街日报》，4 March 1993：A1（有关树木）；Pick and Butler 1997：202（有关鸟儿坠地）。

[63]1995年墨西哥市1/3的臭氧为家用天然气所造成（但此数据有争议）。Nemecek 1995；Guzman et al.1996。有关20世纪90年代墨西哥空气：Lacy 1993；Restrepo 1992；Simon 1997：77–82。

[64]加尔各答数据来自：Anderson 1995；WHO/UNEP 1992：91–98；Centre for Science and Environment 1982：74–90。

[65]Anderson 1995：313所引述。

[66]Anderson 1995：323.

[67]北京与卡拉奇的沙尘问题，一部分是由人为的沙漠化现象这种人为因素造成。其他超大城市的相关作为请见WHO/UNEP 1992。

[68]Türkiye Çevre Sorunlari Vakfi1991：50–58；Levin son 1992：42–48；Tunceland Ungör 1996.

[69]根据Findlay 1988 and Levinson 1992引述自报纸之新闻报导。

[70]Bohm et al.1989.

[71]Findley 1988：52–68；Klumpp et al.1996；Levinson 1992：37–42。Dean 1995：324–9对库巴陶污染史的描述就没那么乐观。

[72]Turco 1997：4。1995年史维拉（Dietrich Schwela）估计有11亿人在呼吸不健康的空气（WRI 1996：1）。

第3章 大气圈：区域性与全球性的历史

这就是地球共同沉浸其中的空气。

——沃尔特·惠特曼（Walt Whitman），《自我之歌》（*Song of Myself*）

从前面几个主题可以看出，20世纪都会空气的发展史各有不同。一方面，在墨西哥市或雅典的案例中，污染较以往更为严重，伦敦或匹兹堡的案例则有所减缓。另一方面，区域性与全球性的空气污染，在过去任何一个世纪中都相当罕见。

1870年后的区域性空气污染

家用炉灶从未造成明显的区域性空气污染，连汽车也很少。区域性的空气污染需要众多工厂大规模燃烧，产生滞留在空中数天或数周的污染物质（也就是所谓的滞留时间）。区域性空气污染的主要污染物——二氧化硫、微粒及氧化氮，滞留时间较长，使其停留在高空并随风散播。当重工业享有极高的特权及政治影响力，当地主的反对无足轻重，当肮脏的煤炭成为最廉价的燃料，还进行大规模冶炼作业时，严重的区域性空气污染就会产生。

有时候光是一座熔炉就足以造成污染。第二次工业革命（约在1870—1914年）需要大量的铜及其他原材料，西班牙、智利、日本、北美，最后连非洲南部都因此开始大量采铜并进行冶炼。在西班牙，力拓集团（Rio Tinto）的矿场自腓尼基时期便间歇开挖，19世纪70年代则由新接手的英国业主进行升级，很快就开采出大量欧洲新兴化学工业所需的低质量矿砂及各种硫酸。矿砂当场进行冶炼，以露天方式燃烧成堆木炭，使得附近降下酸雨。一名英国商务代表承认：“喉咙与眼睛刺痛，所有的铁都腐蚀了。在这样的情况下，植物根本活不下来，动物也难以生存。”来自力拓熔炉的污染让矿工、农民及其家人团结起来抗议英国业

主（1888年），造成45人死亡，成为西班牙劳工史上最关键的事件之一。在这里，污染让整个社区团结起来，成为1914年之前劳工运动的特色之一。[1]但此时期污染与抗议的规模仍属中等。

在20世纪，镍和铜一样成为工业及军事制造业中的重要成分之一，冶炼规模之大，力拓简直是小巫见大巫。（安大略）萨德伯里镍矿的熔炉，还有（秘鲁南部）伊洛（Ilo）附近铜熔炉所产生的有毒烟流，影响了附近数公里范围内的植物及动物肺部。在1888年与20世纪20年代间，萨德伯里露天烘烤式的熔炉造就了一座黑色沙漠。附近农民抗议均告无效，直到1972年建了座比埃菲尔铁塔还高的工业烟囱排放硫，并散布至附近大片区域。[2]伊洛的熔炉于1960年启用，四年内甚至连200公里之外的农民，都发起诉讼要求赔偿作物损失。[3]西伯利亚西南部诺里尔斯克（Norilsk）镍矿熔炉所造成的损害更为严重。这座熔炉位于1935年后由古拉格劳改营犯人所兴建的超大型冶炼厂区，由斯大林的秘密警察经营。诺里尔斯克逐渐扩大成为北极圈以北最大的城市，是苏联军事工业区的一大堡垒。它所散发的污染造成相当于康涅狄格州一半面积的针叶林死亡或受损，并且损害居民肺部，即便以苏联时期末期的标准来看都已造成严重健康问题。诺里尔斯克男性罹患肺癌比例为全球之冠。在20世纪80年代，诺里尔斯克工业烟囱喷出的二氧化硫，比意大利全国总量还高。[4]俄罗斯科拉半岛上其他镍熔炉所造成的酸雨，范围远及瑞典与挪威，并且向东飘向摩尔曼斯克（Murmansk）。[5]

一座熔炉已够糟糕，重工业群聚可能更加严重。19世纪末起有好几个这样的群聚崛起，有的是因为国家政策扶植［苏联的顿涅茨克（Donetsk）或马格尼托哥尔斯克（Magnitogorsk），波兰的卡托维兹（Katowice）］；有的是因为同时拥有煤炭、矿砂与市场（鲁尔、英格兰中部、北美大湖区）；有的则是两个条件兼具（日本坂神地区、美国大洛杉矶地区）。这些至少在1975年前堪称20世纪经济增长火车头的大型工业区，都制造了大量空气污染。鲁尔与“硫污染三角带”成了一个有趣的对比，突显出政治对污染的影响力。

鲁尔[6]　德国鲁尔区以工业心脏地带而言，规模其实不大，约1500平方公里，但地下藏有全球数一数二的煤层。它位于莱茵河东，横跨鲁尔与埃姆歇（Emscher）两条河。1850年这里还是农业地区。到了1910年，当地高硫含量煤炭产量达1.1亿吨，雇佣了40万名矿工，支撑了克虏伯（Krupp）与帝森（Thyssen）两家德国重量级军事工业集团的大型钢铁厂。工业对德国政府来说相当重要，可以规避几乎所有法规，也因

此空气污染，即黑烟、煤烟、二氧化硫比重极高。[7]1900年鲁尔成为欧洲最大工业区，可能也是污染最为严重者。没有了它，德国可能根本打不了第一次世界大战。

1923年所发生的国际事件，让各界了解到鲁尔空气污染的程度。第一次世界大战期间熔炉火力全开，但因为德国未能支付战争赔款，法国与比利时军队在1923年占领了鲁尔，秋天之前工厂均因战事关闭。当地的天空突然干净了起来，农业收成增加五成，树木生长的速度达到高峰。女人暂时不用像以前那样一天得打扫两次房间。但法国人并没有得到他们想要的煤矿，德国货币也因政府印钞支持军事行动而变得一文不值。柏林与巴黎都难以忍受这样的状况，因此进入协商结束战事。工业，还有空气污染，因此重新启动。或许是受到1923年夏季清洁天空的启发，官方后来开始针对污染情况进行调查。但结论是污染难以避免，而且鲁尔必须适应污染而非加以设限。



图为地处鲁尔河与莱茵河汇流处的杜伊斯堡（Duisburg），拖船、装卸吊车和调度机车在工业霾害的背景下工作的状况。杜伊斯堡有制铁、钢铁及化学工业，是欧洲最繁忙的内陆港。这张照片摄于1952年左右，当时鲁尔工业经济正从第二次世界大战期间的破坏中逐渐复苏，空气再度遭受严重污染。到了1961年，鲁尔的空气质量已成为德国一个重要的政治议题，而到了1980年，如此严重的污染已不复见

由于最新燃烧科技让工厂得以使用劣质煤炭，20世纪20年代污染达到另一波高峰。1929年有家位于索林根（Solingen）的新工厂，锅炉开始燃烧后仅几个小时，附近地区就覆盖上了一片白色灰尘。工厂在抗议声中加装了金属过滤器，但几天内就因酸性气体而瓦解。即使工厂装上质量较佳的过滤器，索林根的空气仍然损害幼童肺部。为配合工业，学校被迫关闭18个月。态度、政策与法令都依循着鲁尔模式，因为从1880年起，工业集团与工人就主宰着这个地区。利润与就业比污染、农民、地主、主妇等其他因素都更重要，这些人因为无法在政治上与克虏伯、帝森或产业公会竞争，只好牺牲他们的利益。1930年后，利润、就业与污染随着纳粹重整军备而萌芽。至少在第二次世界大战期间，纳粹对德国血统与土壤的感情并未扩及德国的空气，当然更不足以让他们对重工业设限。在1944—1945年，同盟国将鲁尔地区工厂视为主要目标，虽然鲁尔上空的黑烟及霾害让轰炸机的轰炸准确率低于德国其他地区，还是大幅削弱了德国工业实力。德国战败再度使污染得以暂时解除（1945—1948年）。但由于冷战兴起，鲁尔工业复苏变得相当重要。欧洲重建期间急需德国的煤炭与钢铁。到了20世纪50年代末期，德国政府对鲁尔煤矿进行补贴以对抗进口，让鲁尔的产出及污染都达到新一波高峰。

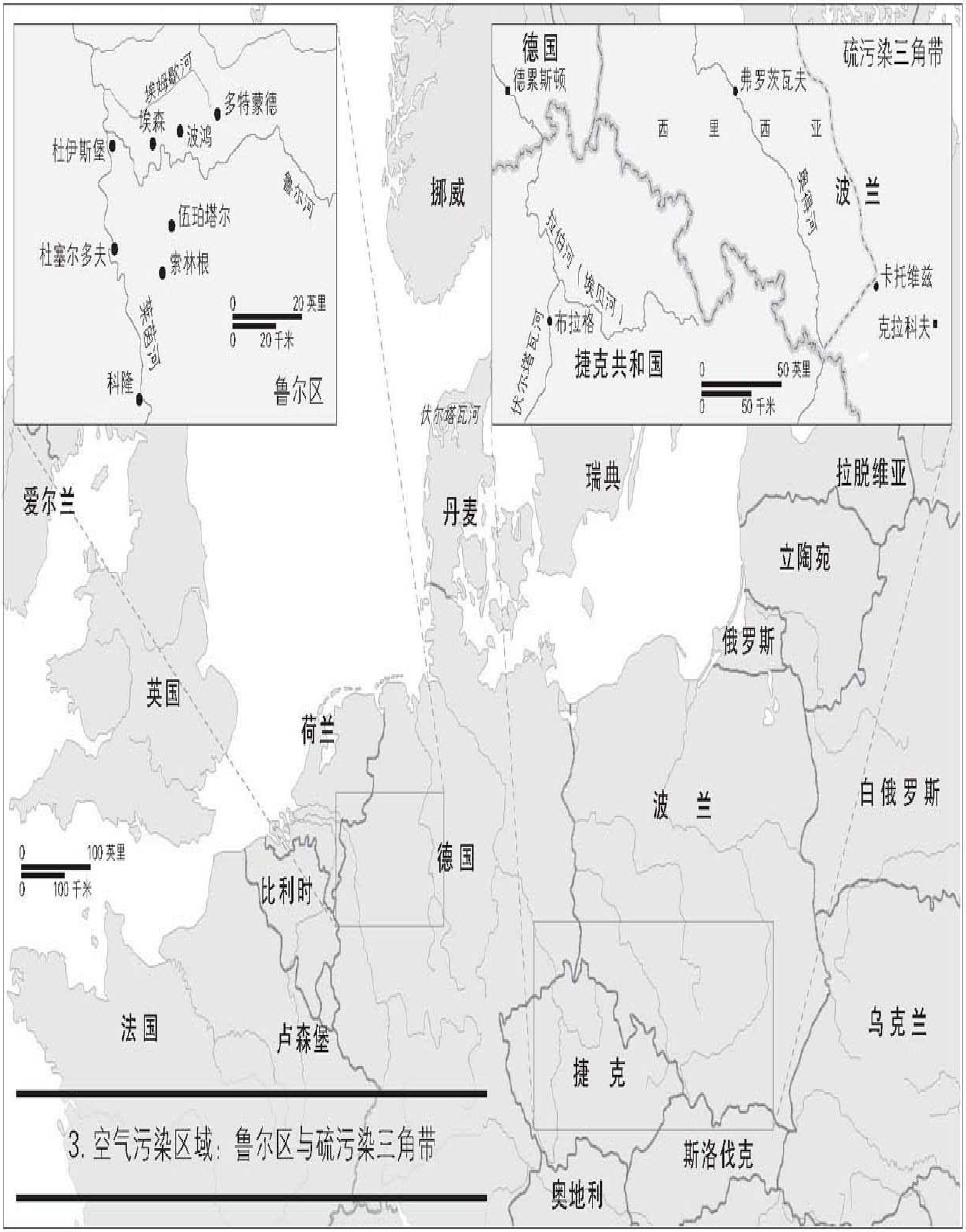
1961年，鲁尔的空气质量成了全国性政治议题。竞逐德国总理大位的维利·勃兰特（Willy Brandt）表示一定要让鲁尔重见蓝天。勃兰特输了大选，但随后即于20世纪60年代制定有效的黑烟及煤烟规范，特别是他当上联合政府副总理之后（1966—1969年）。高大的工业烟囱直入云霄，将硫排放物散播至下风处。这种策略在所有工业区都相当常见，让污染扩及更宽广的区域，因而降低污染浓度。就政治而言这通常足以平息事端，推迟有效降低排放的必要。在鲁尔地区，直到20世纪80年代初期，也就是德国绿党崛起，才在含硫酸雨证据累积下结合了政治意向，针对污染排放进行取缔。

鲁尔地区在20世纪60年代之前空气污染失控的记录，以及其后30年间大幅改善的案例，在美国、日本、瑞典及英国的工业区都有类似情况。大体来说，苏联与东欧的工业中心一直要到20世纪90年代，才在压力之下减少污染。冒出滚滚黑烟的工业烟囱，对马克思信徒来说带有一

种象征的气味：重工业不但保证国家的权力，还确立了社会的无产阶级化。因此，冶铁、钢铁与煤炭，还有后来的化学、水泥与石油，在苏联以及1948年以后东欧卫星国的经济计划中都拥有优先权。

硫污染三角带　德累斯顿、布拉格与克拉布科夫（Krakow）所形成的三角地带，蕴藏了大量富含硫与灰土的褐煤。早期的工业化利用了这些矿藏，还有来自塔特拉（Tatra）及苏台德山区的水力发电。1796年，雷维兹（Gleiwitz）设立了欧洲第一座高炉，打开了也就是现在波兰西里西亚地区的煤炭、冶铁及炼钢生产。1900年这个地区成为大规模工业设施的后援，规模在欧洲仅次于鲁尔。

这个地区在19世纪末已有明显的空气污染。捷克的森林从20世纪20年代起便出现高浓度硫所造成的不良效应。经济大萧条（1931—1938年）抑制了工业生产与污染，但战争却起了带动作用。这个地区到1939年末已全由德国掌控，因此全力支持纳粹军队。1944—1945年，当地工业多半在美国轰炸及苏联炮火下夷为平地。但这里的煤炭工业依旧存在，发展工业也符合1948年后在捷克斯洛伐克、波兰与民主德国掌权的共产党，还有他们在莫斯科的老大哥的利益和意识形态。重工业（冶铁、炼钢、煤炭、水泥、化学、玻璃、陶瓷）因此东山再起，扩大并造成前所未有的污染。与以前鲁尔的地主相比，工厂厂长与党内规划者更不必担心反污染的问题。共产党很快就在东欧摧毁了原有的土地制度，掌握了信息与权力，因此在20世纪80年代前鲜少听到任何公开异议。除此之外，根植于快速工业化的经济增长（约在1950—1970年）改善了平均生活水平，因此在硫污染三角带产生污染的工业烟囱，就像八幡（日本）、匹兹堡（美国）以及鲁尔（德国），似乎都是可以容忍的公害，但也只能忍耐一时。



3. 空气污染区域：鲁尔区与硫污染三角带

到了20世纪70年代，污染问题严重得简直不成比例。波希米亚北部

由于燃煤发电厂太过密集，污染程度在欧洲居冠。[8]煤炭提供了波兰3/4的能源，在捷克与民主德国也达到2/3。在20世纪70年代，波兰2/3的硫排放均来自上西里西亚（Upper Silesia），而该地区面积仅占全国领土的3%。[9]波兰西里西亚也因为来自捷克与德国各省的西风，接收了数百万吨的污染物。有项统计显示，20世纪70年代中期上西里西亚及克拉布科夫因严重污染每年造成6‰～7‰的人死亡。上西里西亚人的平均寿命比波兰其他地区都短，基因突变与儿童发育不良也更为常见。[10]

1970年后鲁尔工业排放获得某种程度的控制，反观20世纪80年代硫污染三角带的污染尽管缓慢却仍持续攀升。煤炭补贴与低效率燃料依旧相当常见。民主德国所产生的人均或单位国民生产总值二氧化硫排放量，高于世上其他所有国家。到了1990年，波兰上西里西亚的硫排放（每平方公里）是鲁尔地区的5倍。

波兰当局起初（约在1950—1970年）否认社会主义经济体中存在污染问题，后来更小心翼翼地将环境信息视为国家机密。结果，鲁尔地区在公民压力、政治化及媒体炮轰等因素下达成减排，而且无须改变社会基本结构的案例，在“铁幕”以东找不到类似状况。由于在东欧完全由国家包庇污染制造者，人民对污染的愤怒数十年来无处可发泄，便因此转而针对国家而非个别企业。这也导致1989—1991年东欧社会主义国家相继瓦解。

但即便是这些撼动全球的事件，仍无法改变地质：褐煤仍旧存在，并在20世纪90年代持续供应工业电力并污染空气。在前东德地区，1989—1991年的事件导致了两德统一、投资涌入、技术提升、能源效率与污染控制快速变迁，且均以增加天然气使用为主。在波兰与捷克，这些改变经历了较多的苦痛。1985—1994年捷克空气污染值减少近50%。但两国空气质量改善，通常是通过关厂［例如克拉布科夫附近的大型铁工厂新胡塔（Nova Huta）］而非技术提升。[11]

20世纪鲁尔与硫污染三角洲的空气污染史，突显了欧洲国家对工业发展的投入、西方企业对利润的投入、社会主义国家誓言在产量上超越西方国家的决心，导致空气污染与人类健康不受重视。但这还显示出，1970年后在政治上更加开放的社会，如何在社会压力下开始变革，反观限制较多且不具弹性的政体，则仍在污染的掌控下无法喘息。[12]

日本的空气污染

日本空气污染于1970年达到高峰，随后便逐渐平息。污染的出现与消除均与日本政治紧密关联，而且涵盖国际、国家与地方政治。

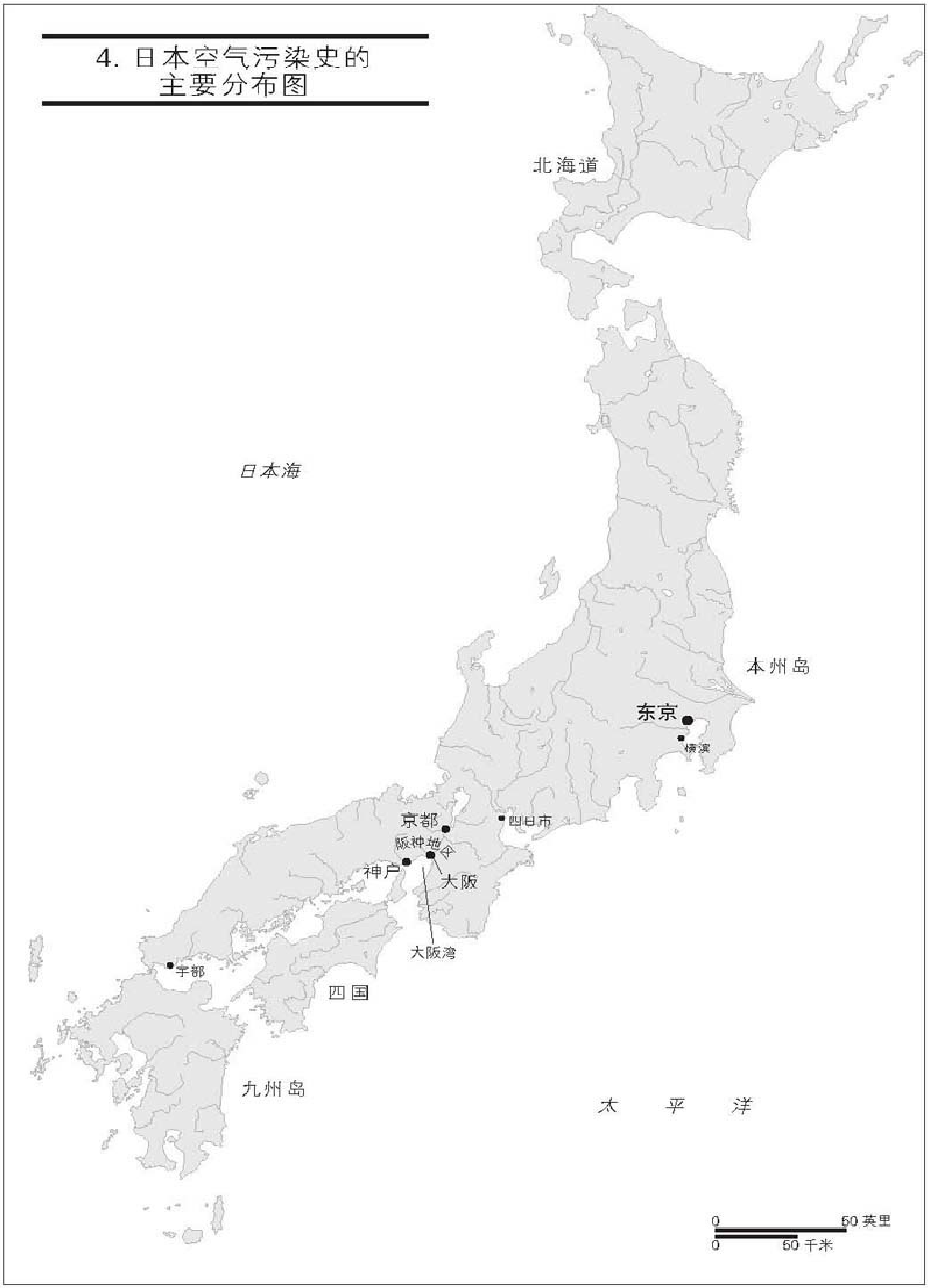
日本与硫污染三角带以及鲁尔在对工业的投入等特点上相当雷同。从19世纪70年代起，日本快速创建起密集工业。拥挤的城市与造成污染的工业唇齿相依。直到20世纪60年代中期以前，由于地缘政治地位特殊，造成国力极度仰赖大企业，国家鲜少出面干预大企业。日本就像德国，强势的民族主义就等同于不顾社会与环境代价致力于加速工业化。日本与德国都可以称得上是20世纪（全国）空气污染最严重的国家。[13]从明治维新（1868年）到1965年左右，日本成了“污染者的天堂”。[14]不过到了1975年，日本的空气污染问题已获控制，1985年其空气甚至比世上其他工业国家还要干净。这个戏剧性的转变，就像鲁尔、匹兹堡或库巴陶，显示出即使是严重空气污染也可逆转。

1885—1925年的铜矿与熔炉　采矿与冶炼让日本很早就体验到严重的空气污染。1890—1905年，足尾铜山（请见第4章）引发了紧张的政治抗争。四国岛上的别子铜山，从17世纪就造成污染问题。1885年后，别子铜山的采矿与冶炼作业扩大造成污染恶化，引发了40年的激烈抗议与政治斗争。为了避免在足尾引发政治问题，政府鼓励矿场业主设立治理污染设备。1910年，农业大臣为了响应农民的抗议，强迫业主住友集团在稻谷成熟的40天关键期内限制别子矿区的作业。遵循德国惠灵的前例，这项做法降低但并未解决反污染抗争。在1925年后，去硫化设备与48米高的工业烟囱，分散了当地污染，也解除了政治压力。1905年后日立铜矿也遵循着同样模式，在当地污染恶化后招致福斯抗争，在1914—1915年架设155米高（全球最高）烟囱后获得解决。[15]

只有少数社区成功地抑制空气污染，且其成功通常都和有害物质的稀释及出口有关。明治时期日本积极投入工业化、军事化与帝国的拓展，为了国家利益牺牲社会与地方社区因而理所当然；日本的中央集权式权力结构，也让这样的牺牲变得可行。有位因为八幡炼铁厂而顿失生计的渔民回忆道：“为了日本国的发展，以及本地区的发展，我们渔民成了牺牲者。”[16]日本并非由渔民治国。

1890—1970年的坂神地区　矿场与熔炉的严重空气污染影响区域有限，但也预告了更大的问题。坂神地区的重工业规模比日本其他地区都

大，甚至可能超过大东京地区。（坂神包括大坂、神户以及大坂湾附近及后方无数个小城市）。当地向来为纺织重镇，1880年后新式钢铁、水泥与化学工厂充斥其间。19世纪80年代大坂与神户人口倍增，达到62万人左右，到了1900年再度倍增。日俄战争（1904—1905年）的胜利为日本的经济政策做了最好的辩护，并让政府更加投入。坂神的工业扩散到住宅与农业区，引发严重的社会紧张。数千座工业烟囱冒出滚滚黑烟与二氧化硫，影响数百万人。坂神就等于德国的鲁尔——它们都是在国家利益下让严重污染合理化的重要工业区。1912年大坂开始监控空气污染。当地的黑烟与飞灰浓度堪与圣刘易斯、辛辛那提或柏林相比。[17]


4. 日本空气污染史的
主要分布图
北海道
日本海
本州岛
东京
横滨
京都
四日市
阪神地带
神户
大阪
大阪湾
宇部
四国
九州岛
太 平 洋
0 50 英里
0 50 千米

大坂像伦敦或匹兹堡一样是个煤炭城市，被日本人称为“黑烟城大坂”。就像其他的煤炭城市，只能在工业发展的主流意识之外私下表示异议。

当第一次世界大战的需求与机会逐渐浮上台面，抑制污染的政治压力也开始萌芽。日本在这场冲突中只扮演了小角色，但战争结束时也取得德国在太平洋地区的殖民地，以及德国在中国的部分特权。布尔什维克革命之后，俄国远东地区的骚动，给了日本另一个延伸帝国势力的机会，因此它需要更多的钢铁、船只与武器。坂神地区因此景气大好。尽管1925年立法要求都会建筑装设黑烟防治设备，20世纪20年代当地空气污染依旧恶化。管理与法规跟不上都市发展的速度。20世纪20年代大坂人口倍增（至240万），面积也持续扩大。整个坂神地区充满了日本经济快速增长的活力。大坂政府在数十件空气污染争议爆发后致力于防范黑烟，相关行动在1932年立法以提升燃烧效率并降低黑烟后达到高潮。但1932年仅大坂市就有3.5万座工业烟囱，却只有3名黑烟巡查人员。日本帝国势力伸向中国后（1931年），坂神地区建造了更多的冶金与化学工厂，造成黑烟数据倍增（1932—1934年）。连飞机都因为能见度太低而坠毁。但因为日本将军事相关制造业列为优先选项，限制污染的规定都不够分量。1944—1945年，在美国空军将坂神工业炸成废墟之前，整个地区都笼罩在黑烟、飞灰、落尘与硫污染物中。

1945年之后，坂神地区直到朝鲜战争爆发前都陷入经济萧条，而且就跟鲁尔一样，在美国的地缘政治焦虑下这些才刚被美国战机摧毁的地区亟须振兴。大坂的落尘在1945年只有1935年数值的1/4，到了1955年已经超越南战争前高点。[18]20世纪30年代，汽车对坂神地区空气污染的贡献不大，到50年代才造成较多的乌云，特别是1970年后坂神几乎成为一个以汽车为主要交通工具的单一卫星城。1970年以前工业烟囱与汽车排放的污染相当严重，在近千万人口间造成相当普遍的健康问题。坂神就像鲁尔或诺里斯克一样，产生污染的企业都受到国家利益的保护。坂神只是日本经济奇迹下几个严重污染地区之一。宇部这个位于日本本州岛西南部的水泥、化学与煤业中心，就曾遭受严重空气污染之苦。1901年八幡钢铁厂开幕，到1961年其烟囱每天排出27吨的煤烟及落尘，附近区域所观察到的呼吸系统疾病罹患率超高，便可能与之有关。还有东京，当地空气自19世纪便遭污染，几乎与大坂一样严重，在1970年也因为汽车数量增加而出现严重的光化学烟雾问题。[19]就像德国的经济奇迹（Wirtschaftswunder）一样，日本的经济奇迹也在空气污染方面付出高

额代价。但到了60年代末期，全日本的空气开始变得干净起来。

1965—1985年的日本环保奇迹　在数种力量结合下，在经济增长火车头无须转向的情况下，日本的环保开始转向。最重要因素包括负责响应地方舆论的地方政府体系、改变使用煤炭的习惯、经济繁荣使公民开始质疑污染的必要性，还有资金累积速度超快，使得产业能尽到控制污染的义务。

宇部率先采取有效措施。20世纪50年代初期，一个罕见的学术、工业与地方官员联盟成形。地方大学医学院的流行病学家证明了宇部肮脏空气所带来的后果。曾在第二次世界大战前造访匹兹堡的知名工业家中安闲一，1954年再度前往匹兹堡，看到也闻到了当地空气的变化。他深信宇部的同行们能够让空气更清洁。官员着手编纂有关排放的新法规，主要针对落尘与烟雾。到了1961年，宇部的空气已摆脱过去而变得清澈透明。由精英阶层所推动的改革生效了。1962年，宇部的法规成了全国管控黑烟与煤烟法令的基础，但各地推行成效不一。

多数日本工业家并非自愿遵守1962年黑烟与煤烟法令，而是由公民与政府推了一把。这项法令并未限制二氧化硫或重金属排放。20世纪60年代末期日本空气污染数值创下有史以来最糟的纪录。公民行动推动了下一阶段的改革。1967年，四日市的哮喘病患者控告1959年起即在当地营运的大型化学工业厂区。在媒体大量曝光下，原告在1972年获判高额赔偿金；三重县随即颁布严格的硫排放标准。在八幡炼铁厂，女性施压要求当局降低污染。20世纪60年代末，在污染与健康的考虑之下，有好几个县取消了原定的工业区计划，与日本先前的心态及做法大相径庭。

到了20世纪60年代末，新设工厂必须拥有污染管制技术才能拿到地方政府许可。日本土地有限，让地方政府在面对工业家时握有极佳的谈判筹码，这种状况在幅员广阔的国家是看不到的。重视良好社区关系的工业家（这在日本并不罕见）确实会谨慎行事，以较法律规定更严格的标准把关工厂排放。但相关法律还是追得很紧。1965年污染控制进入国家政治的主舞台，人尽皆知的诉讼案持续出现，民众与地方当局也在污染与污染管制方面学到更多。1970年夏天东京出现特别严重的烟雾，让中央政府注意到这个问题，当年稍晚时便通过一连串反污染法令，并成立新单位来监控环保事务。标准越来越严格，工业家对新的反污染科技投下资金，日本的天空也因此更为清净。到了1975年，日本业者甚至尝试将污染防治技术卖到库巴陶。

日本控制汽车尾气排放的脚步更快。1960—1970年，东京汽车数量增至200万辆。1970年美国环保署长（EPA）到国会推动美国《清洁空气法》时便提到东京，以当地交通警察必须戴口罩为例，来警示情况可能恶化的程度。东京制造出世界级的烟雾，“永远处于薄暮状态”。[20]在群众的愤怒下，权力至高无上的通商产业省（MITI）根据美国1970年的做法，针对汽车业制定了排放标准。两国的汽车公司都声称标准难以达成。美国车厂因此控告环保署。日本业者高声抱怨，但仍努力达到通商产业省及环保署制定的标准。有些车厂在法律要求期限前多年便已达到两国标准，也因此20世纪70年代在美国汽车市场销售大增。到了1978年，新款日本车排放污染只有1968年新款车的10%。[21]日本人不喜老旧车辆的习惯，也有助于汽车汰旧换新，汽车废气排放量也因此巨幅下滑。

到了20世纪90年代初期，大坂、东京等日本城市，还有坂神等日本工业区，空气污染程度都比20世纪60年代或20世纪30年代更为减轻。[22]在这股巨大转变背后有好几项有利条件。日本对抗黑烟与煤烟的行动成功落幕，主要是因为煤炭（1955年占能源组合半数，1975年为六分之一）被石油及其他能源所取代。反污染技术进展加快，再加上日本引进、调整并吸收有用技术及法令的超强能力。明治初期日本就已经钻研西方法令，一个世纪后便开始采用德国、英国及美国的防治污染法令。景气好时日本社会储蓄率也出奇地高，投资资金因此相当充裕；其中一部分便可能投入污染防治，偶尔甚至会超出法定水平。资金还流向提高能源效率的领域，在1973年之后成为日本一大福音。通商产业省还赞助相关研究，到了1983年采矿与制造业所使用的能源也比1973年减少三分之一（指每一产量单位）。最重要的可能是1947年立宪之后，日本县市官员因为顾虑地方选举（而非中央），因此相当重视市民观感。这调整了过去（尤以1868年之后更为强烈）为国家荣誉与进步牺牲地方环保（与健康）的心态。日本的环保奇迹，就像经济奇迹一样肇因于众多因素，其中有几项更为日本所独有。[23]

酸雨

区域性的污染，有时会扩大至超越国界。空气污染跨越国界的案例，主要以硫及氧化氮所造成的酸雨为主。与大部分污染物不同的地方，在于它们会长期滞留在大气圈中，因此会飘至数千公里的远处。20

世纪每个大型工业心脏地带所燃烧的化石燃料，都会造成大量硫排放，这就是20世纪酸雨的主要成分。[24]日本的污染排放多半会被冲刷至太平洋。其他国家的污染排放则造成邻国之间的摩擦。这类案例多以北欧、北美东部及东亚的酸雨为主。

在欧洲，至少从19世纪60年代起就已侦测到足以惹恼观察家的跨国性空气污染。挪威剧作家易卜生（Henrik Ibsen，1828—1906年）就抱怨过跨越北海而来的英国煤尘。[25]但这个议题到20世纪60年代才引起注意，当时斯堪的纳维亚科学家证实英国燃烧煤碳所造成的酸雨，对瑞典及挪威南部的河流与湖泊影响甚巨。进一步的监控与研究发现，以二氧化硫为主的跨国污染相当严重，主要随风自欧洲西部飘向东部。[26]冰岛与葡萄牙几乎没有外来污染，斯堪的纳维亚与波兰则相当严重。为了避免地方性污染问题而竖立高耸的工业烟囱，自然会增加跨国污染。酸雨效应影响欧洲各地的土壤与水源，尤其是伯明翰到布拉迪斯拉发（Bratislava）之间的宽广地带，这里煤炭与汽车使用又特别集中。即使是远离工业区的乡间也出现负面效应，主要是树木、湖泊和小溪受到伤害。酸性物质累积进而造成生物问题的临界点［亦即所谓的临界负载（critical load）］不一：希腊石灰石土壤中和酸性物质的能力，是斯堪的纳维亚脆弱土质的10倍。1950—1958年欧洲工业增长，大量使用能源且汽车普及，让大量的酸与氮进入空气中，造成了前所未见的酸雨。

要解决如此规模与复杂的问题，需要国家间的通力合作。在1985年与1994年，大部分欧洲国家签署协议要求降低硫排放，更认定不同临界负载的重要性。事实上，欧洲硫排放减少了15%（1980—1995年），起初主要是受到20世纪70年代燃料价格飞涨所带动的提升能源效率风潮。[27]控制氧化氮意味着控制汽车排放，尽管1988年国际达成一项相关公约，但欧洲在这方面并无太大进展。长距离的污染扩散，特别是酸雨，到20世纪90年代仍是欧洲生态系统的一大负担。推动空气污染防治在政治上相当艰难，因为欧洲是由众多小国组成，有很大比重的空气污染都属于国际问题。[28]

类似的问题也在北美东部肆虐，不过只涉及两个国家。这里就像斯堪的纳维亚一样，缺乏石灰的薄土与水源均无法对抗酸化。大湖区及俄亥俄河谷的工业地带冒出大量酸性排放物。在20世纪70年代与80年代初期，这里的雨通常比海尔斯（Hires）出品的碳酸饮料沙士还酸，偶尔还会超过健怡可乐。[29]20世纪50年代首度侦测出其对生态的影响，没多久从魁北克、加拿大滨海各省、新英格兰及纽约的湖泊与河流就可明显看

出变化。20世纪80年代加拿大硫沉积物半数来自美国，成为北美酸化现象的政治背景。因为东北各州位于中西部硫排放接收端，政治情势因而更为复杂。安大略的排放飘过魁北克及加拿大滨海各省，也飘过美国东北部。1975年后，美国与加拿大降低了15%～25%的硫排放，与欧洲在1980年后的成果相当。

20世纪80年代东亚大举迈向工业化，造就了一个新的跨国空气污染竞技场。日本发现自己笼罩在来自韩国与中国的酸雨当中。1996年，日本部分地区有半数酸性沉积物来自中国。就像加拿大与挪威，日本成了位于下风处的受害者，并开始针对酸化现象加紧赞助研究与国际对话。中国的酸性落尘飘过了菲律宾、韩国还有日本，像美国、英国一样成了污染的净输出国，而且通常在国际合作中扮演控制刹车的角色。20世纪90年代，东亚的跨国污染问题规模仍然不大，以欧洲标准而言政治重要性也较低，但增长却相当快速。[30]

20世纪中叶，受跨国污染影响地区的数量与规模呈现倍数增长。虽然严重影响仅限于欧洲、东亚与北美东部，但微小的冲击在整个半球都看得出来。[31]1995年，一架航天飞机的监测装置发现一股硫烟从北美掠过大西洋飘向欧洲。[32]格陵兰冰帽的大气档案显示，北半球硫与氮的排放聚集在极地上空循环。格陵兰的冰层显示有两次硫沉积物大幅增加，1875—1910年那次较为温和，另一次较为强烈的约发生在1945—1975年。自1950年起，冰层便记录到氮沉积物大幅增加。把所有酸性化合物都算在内的话，1994年卫星探测显示从英国到中亚一大片区域内，经常降下高酸度酸雨。[33]相较之下在南半球，酸雨及其他形式的空气污染的规模多限于地方性，仅有少数例外。

尽管1985年后欧洲国家达成排放管制协议，多数跨国空气污染案例还是比地方性或都会型污染难以控制。政治权力中心的多头马车是一个原因，不只是国与国之间的问题，一国之内不同省份间，有时也必须与国家级的政府就各种目标进行合作，但这会对协调造成阻碍。除此之外，像日本与中国这样互不信任的邻国也难以合作。造成长距离污染物的行为——燃烧煤炭与汽车排放，对多数经济体来说都难以割舍。在这诸多原因之下，政治意愿往往难以企及降低跨国污染的艰难任务。

空气污染的进一步后果

无所不在的空气污染已达到前所未见的规模，因此早可预见会造成诸多后果，而且其中少有正面者。从以人类为中心的观点出发，最重要的还是与人类健康有关的后果。

空气污染与人类健康　虽然难以准确测量，但20世纪空气污染对健康造成了严重的后果。1992年世界银行估计，全球城市中仅微粒每年就能夺走30万～70万人的性命。（每年有88万人因车祸丧生）。[34]1996年哈佛大学公共卫生学院估计的数字则为56.8万人。[35]1997年，世界卫生组织估计每年全球有40万人因空气污染丧命。[36]如果取最低数值，假设高风险的都会人口自1950年增为原本的4倍，且中国、第三世界与苏联集团的空气污染死亡率增加，抵消了日本、西欧与美国空气质量改善的效应，我估算1950—1997年，空气污染夺走了大约2000万～3000万人的性命。虽然西方世界的空气污染更糟糕，但因为都会人口较少，整个世纪的数字可能只略为增加。总计之后，“推估”20世纪空气污染的人命代价可能在2500万～4000万人间，约等同于第一次世界大战与第二次世界大战的死亡总人数，也逼近1918—1919年全球流感大流行这场20世纪最严重传染病的死亡人数。

由于这是推估出来的数字，我们必须说虽然空气污染与战争所造成的死亡人数可能旗鼓相当，但从社会与经济观点来看这是两回事。在20世纪，战争夺走的多数是壮年人的性命；空气污染杀害的则是病人、老人以及幼童。如果我们同样尊重所有个体，那么空气污染的代价便可认定为等同于世界大战。但如果换个想法，认为老人已经完成对社会的贡献，而幼童因为投入的资源较少而容易被取代，那算法就不一样了。[37]

20世纪70年代末期后，美国的空气污染每年夺走大约3万～6万条人命，约占所有死亡人数的2%～3%（约与波兰或捷克斯洛伐克的数字相当）。[38]在美国，因空气污染而死亡的排名与汽车车祸导致的死亡相同，略高于枪击，但仍远远落后于吸烟。然而致死的多为老人，也就是最容易罹患呼吸道感染与癌症的族群。相较之下，车祸死亡者涵盖各个年龄层，枪下冤魂则多为年轻人。因此就少活的年龄总数来说，空气污染在美国的重要性远低于车祸或枪击。

除了在20世纪夺走数千万条性命，空气污染还在更多人身上引发或加重慢性疾病，影响人数可能上亿。微粒物质，尤其是细微颗粒，会促进呼吸道感染甚至癌症。铅会伤害神经系统并抑制心智发展。部分流行病学家认为，1950—1980年美国儿童因为吸入空气中的铅，平均智商下降。在波兰及泰国曼谷，铅暴露对健康所造成的冲击更为严重。[39]二氧

化硫也会造成包括呼吸道疾病在内的健康问题，尤其是已经患支气管炎的人。日本污染赔偿法令于1973—1988年生效，因而引发许多详尽的相关研究。四日市石化工业区附近，有9万人因为空气污染造成健康问题符合赔偿条件，其中以二氧化硫为主要污染物。

要让空气污染对健康的影响，与其他死因与疾病肇因脱钩并不容易。尤其是在那些以生物量及煤炭作为家用燃料的发展中国家，室内空气污染也导致相同病症，夺走人命的数量甚至可能更多。也就是说必须切记，在20世纪水源污染所造成的死亡与罹病人数，远超过空气污染。[40]

空气污染、植物与动物　要评估20世纪空气污染对生态所造成的影响，难度不亚于对人类健康影响的评估。空气污染以“非自然淘汰”补充了自然淘汰，有利于某些生物却对其他生物造成伤害。极端案例中最为严重的影响，包括库巴陶（巴西）或萨德伯里（安大略）及诺里尔斯克（西伯利亚）附近，都因为污染造成月球表面般的地形。范围最大的冲击来自区域性污染，并以酸雨为主。影响程度介于中段的包括煤炭城市，空气污染虽对生物群造成明显影响但不至于造成毁灭。

大型煤炭城市的黑烟与酸雨，阻碍了植物生长并造成植物死亡，大型熔炉亦是如此。针叶林因为对酸雨相当敏感，就此从煤炭城市中消失踪影。白杨木与柳树的状况较佳。有几种悬铃木（sycamore）因为能够抵抗空气污染，因此成为19世纪末与20世纪初都市规划者的最爱。从伦敦到塔什干（Tashkent）的公园与各项设施附近，都可看到这种做法的遗迹。1970年后，至少在英国与日本都能看到不耐酸树种又多了起来。[41]

煤炭城市也对动物界略有影响。过去伦敦动物园的狮子常死于支气管炎，鸟类则因肺部坏死而丧命，还有许多其他动物因煤肺病（anthracosis）与矽肺病（silicosis）而死亡，这些都是与肺部微粒物质有关的疾病。在1873年12月伦敦一场恶名昭彰的大雾期间，伊斯林顿（Islington）牛展上的得奖动物竟然因此窒息。煤炭城市的黑烟制造了演化上的一种新的选择性压力（selective pressure），最明显的例子就是伦敦与英国中部地区飞蛾数量的变化。19世纪末20世纪初颜色较深的飞蛾成为主流，据推测就是因为它们比白色飞蛾容易伪装。但当20世纪末黑烟减少，颜色较浅的飞蛾恢复以往数量，换成颜色较黑的飞蛾遭殃。[42]

空气污染对生态带来最严重的冲击，当属区域性空气污染。从19世纪末，硫排放就对树木造成伤害。到了20世纪末，酸雨与臭氧损害了大片的森林。在斯堪的纳维亚与欧洲中部，1970年后有数百万株树木显露衰退迹象：生长迟缓、树叶密度下滑，很多甚至枯死。针叶林与橡树受损最为严重。到了20世纪90年代，欧洲约有1/4的树木受到伤害。[43]在捷克共和国北部有整片森林枯死，土壤中的酸性沉积物对树木来说毒性太强。在北美与东亚等其他酸雨较多的地区，问题较不严重。研究德国“森林死亡”（Waldsterben）现象的学者，多半认为此一现象为空气污染所造成，且以酸性排放及臭氧为主要原因，但也有其他说法。[44]空气污染同时也伤害农作物，这种效应不但显而易见且代价可能更为高昂。[45]

酸雨毫无疑问也影响了水中生物。由于底部岩石并未中和过多的酸性物质，20世纪期间湖泊与河流常变得不适合甲壳类、蜗牛、软件动物、青蛙生存，也不适合鲑鱼、鳟鱼等对酸较为敏感的鱼类生存。在欧洲与北美东部，1960年后有数十万河流与湖泊，因为酸雨而丧失了所有或部分水中生物。挪威因为接收了大量来自英国的硫排放物，早自1920年起便开始出现负面效应。

空气污染与文化遗迹　工业烟囱及汽车尾气管所排放的酸性物质会侵蚀石头，特别是石灰石与大理石。因此有些伟大的世界文化遗迹，到了20世纪腐朽速度大幅加快。以欧洲许多城市为例，容易被侵蚀的石头附近若有严重污染，文化损失更是特别明显。伦敦的酸性雾侵蚀了圣保罗大教堂的石质外墙，速率为每百年约8毫米。雅典的汽车尾气在短短25年内对卫城（Acropolis）所造成的伤害，比之前2400年的风化还要严重。圣马可教堂雄伟的青铜马雕像经受住了历史岁月的摧残，最终还是在1974年败给空气污染。威尼斯当局将这些位于教堂屋顶的雕像藏起来，换上玻璃钢材质的仿制品。米开朗琪罗的大卫像不堪佛罗伦萨空气污染，现于领主广场（Piazza della Signoria）上看到的也是复制品。一些不那么知名的遗迹与建筑也深受其害。20世纪90年代初期，欧洲每年要花费90亿美元来替换被腐蚀的石材。由于欧洲部分地区有效地控制住了污染，1970年后建筑石材的腐蚀总算速度趋缓，但并未完全停止。[46]

空气污染造成文化遗迹腐蚀的现象虽以欧洲速度最快，但1980年后也在其他地区涌现。印度阿格拉（Agra）炼油厂排出的二氧化硫，侵蚀了举世无双的泰姬陵。位于危地马拉蒂卡尔（Tikal）的玛雅石灰纪念碑，看得出100公里外墨西哥燃烧石油所造成的负面效应。人面狮身

像、金字塔，还有吉萨（Giza）许多雄伟的法老王纪念碑，历经了4000年来撒哈拉沙漠的风沙吹袭后，却在开罗污染的冲击下明显看出侵蚀。煤尘毁损了始于公元5世纪的中国云冈石窟砂岩雕像。当地有5万尊雕像，其中包括大小相当于三到四只大象的佛像。[47]现代人将是最后能亲眼目睹这些艺术品原貌的一代人。

空气污染的经济与政治效应　20世纪的空气污染，带来重大且难以估计的经济与政治效应。受损害或就此毁灭的森林、作物、建筑、桥梁、纪念碑、机械与人类健康，代价可谓不知凡几。1997年世界银行估计，中国因空气污染付出的代价相当于国民生产总值的8%，这个数字在其他国家可能较低。[48]直到1970年左右，这些损失都被认为是发展工商业时可以接受的代价。1970年后，诸多事件显示不一定要这样，而且污染管制本身也是一门可以赚钱的生意。1980年后空气污染管制发展迅速，成为拥有数十亿美元市场的产业。

这场发生在1970年左右的转变，反映出20世纪最重要的政治动员之一。这股趋势以污染的历史心脏地带为焦点，也就是北美、欧洲与日本，但也在其他地区兴起，特别是印度。这在广泛定义下也是环保运动的一部分（请见第10章）。空气污染除了催化现代环保政治，也在国际事务中扮演了一个小角色。远距离的跨国空气污染造成亲密盟国之间的摩擦，例如美国与加拿大、英国与挪威，还有民主德国与波兰。它还加剧了不睦邻国之间的紧张关系，例如中国与日本，还有挪威与俄罗斯。有无数的国际协议、议定书、协议与条约都是为了解决空气污染而签订，从小型双边条约开始，但1975年后多涉及区域性甚至接近全球性的协议。这些议题因为太过复杂而需要科学家参与，协商才能顺利进行。[49]

气候变迁与大气圈臭氧

在20世纪，人类活动造成大气圈中温室气体增加，并降低大气圈中的臭氧浓度。这两项变化可能会对21世纪的历史带来重大潜在后果。20世纪时这些后果还算温和，但因为它们的前兆对人类事务如此重要，而且因为这变迁根源于20世纪的趋势与行为，我将同时简短地处理这两个议题。[50]

气候变迁 主要温室气体包括二氧化碳、甲烷与臭氧。[51]虽然气候由许多因素所主宰，最重要的还是大气圈的组成。如果没有温室气体，我们的地球就会变成一个极寒之地，变得比较接近平均气温约在零下23摄氏度（零下9华氏度）的火星，就像是地球上极地在冬季的温度。如果温室气体增加，地球则会变得像金星，平均温度高于沸点。对于已经适应地球的生物而言，温室气体发生变化是件相当严重的事。

在1800年之前的1000年间，大气圈中二氧化碳的数值为270～290ppm。1800年左右开始加速上扬，1900年达到约295ppm，1950年为310～315ppm，1995年大约为360ppm。有两项趋势带动数值上扬：燃烧化石燃料约占增加数量的3/4，其余几乎都与砍伐森林（现以热带为主，但在1900年多数集中在北美与温带亚洲）有关。同时，像二氧化碳一样自然存在于大气圈中的甲烷，从大约700ppm增加到大约1720ppm。甲烷增加的主要来源是农业，特别是灌溉稻田、家畜、垃圾分解、采煤及使用化石燃料。

大气中这些微小但重要的变化，再加上其他温室气体更微小的变化，让大气圈留住太阳热能的效率更高。与此同时，人类活动在大气圈中注入了许多落尘与煤烟，使到达地球表面的太阳能数量略微降低。自大约1800年以来的净效应，相当于地球表面每平方米太阳能多出大约2瓦。这可能就是20世纪地球历经中度变暖现象的原因。[52]

近年来地球温度提高，不过没有人能确定这是否真为人类所造成。在1890—1990年，平均地表温度增加了0.3～0.6摄氏度。其间有两次明显上扬，一次在1910—1940年，接着则是1975年后。从1940—1975年，平均温度其实略为下滑。但纪录中最热的10个年头当中，有9年是落在1987—1997年间，20世纪90年代也成为14世纪以来最热的10年。[53]变化的规模及速度仍在自然变化的范围内，但在过去200年间仍属罕见。在过去一万年来可能从未出现，而且可以确定过去600年间并无类似状况。[54]

有些地方比其他地方更热，有些则是更冷。最严重的变暖出现在北半球高纬度地区，包括北纬40度以上的费城北部、马德里及北京。举例来说，20世纪80年代末期与1997年间这些地方的播种季节延长超过一周。[55]南极洲的温度也增加许多，冰层溶化的速度之快前所未见。[56]气候是否变得更不稳定，造成更多的干旱、飓风、热浪、洪水、厄尔尼诺现象等，仍难以确认。联合国跨政府气候变迁小组（IPCC）1995年决议时，尚无可能做出结论；到了20世纪80年代末期，仔细研究极端气候

可能性的保险业者，开始怀疑气候是否真的变得更不稳定。[57]

20世纪变暖的后果仍不算严重。有些生物改变了它们的栖息范围以躲避热浪。有些（但非全部）冰川与冰帽规模缩小，海平面上升了10～25厘米，差不多到人类小腿肚的高度。看似合理但又无法证实的是，暴风雨对各地海岸造成的伤害因此更为严重。疟蚊扩大了栖息范围，尤其是入侵热带非洲的高纬度地区，造成卢旺达等地疟疾死亡率上升。放宽视野从20世纪历史的角度来看，或许这些其实都不算什么（虽然孟加拉国人及卢旺达人会有不同想法）。然而，预言21世纪后变暖将更加严重，就是另一回事了。

20世纪90年代末期，气候模型专家预期21世纪平均温度可能会上升1～5摄氏度（1～10华氏度）。[58]如果他们的模型证实无误，这样的变暖代表蒸发与降水都会出现快速变化，更为活跃的水文周期会同时造成更多的干旱与洪水。这会对农业造成何种后果虽难以预测，但很可能相当剧烈。[59]疾病及其带菌者的扩散也会危及人类健康。物种灭绝可能加速。处理如此大规模的变暖问题——假设它真将发生——将是21世纪历史最重大的一章。对马尔代夫等地势较低的岛屿来说，甚至可能是历史的最终回。[60]

臭氧与氯氟碳化合物　大气圈臭氧耗竭的历史，同样也是因为未来前景而非过去的重要性而亟须关注。在大气圈中，阳光与氧气作用形成臭氧，而臭氧会吸收99%进入大气圈的紫外线辐射。[61]氧气出现前并无臭氧层，地球上的生物因此只能待在水中。这层不可或缺的防晒网，由广大大气圈中浓度仅十亿分之几的臭氧分子组成，而且必须历经无数时光才能形成。接下来，这薄薄的防护层，保护了地球生物约10亿年之久。

但1930—1931年，托马斯·米奇利（Thomas Midgley,Jr.）发明了世上第一款氯氟碳化合物氟利昂（Freon），作为冷冻剂、溶剂与喷雾挥发剂等相当有用。氟利昂取代了先前用于冷冻剂的危险可燃性有毒气体，造就了空调技术。氯氟碳化合物及其他类似气体（通称卤烃）的优点在于相当稳定，而且几乎不会与其他物质一起作用，直到它们飘入大气圈，被直接照射的紫外线辐射分解后释出会回过头来破坏臭氧分子的成分。

米奇利就是发现铅可以提升发动机性能的那位化学家。他对大气圈带来的影响，超过地球史上任何一种有机体。1889年他出生在宾州比弗

福尔斯（Beaver Falls）一个发明家家族（他的祖父发明了带锯）。他在达顿（Dayton）及哥伦布市（Columbus）长大，毕业于康奈尔大学，后来成为化学工程师。第一次世界大战期间，他着手研究空投鱼雷（自动导航飞弹）及飞机合成燃料。他在1921年任职通用汽车研究公司期间，发现四乙铅会降低发动机爆震，1923年所属公司首次开始贩卖乙基汽油（ethyl gasoline）。米奇利的研究让高压缩比的汽车与飞机发动机变得可行。

在通用汽车分公司富及第（Frigidaire）的要求之下，米奇利接着处理冷冻技术问题。1930年在美国化学学会的一场会议中，他在大批观众面前吸入一大口氟利昂，然后再吹向一根点燃的蜡烛并将之熄灭，展示了氟利昂无毒且不可燃的特性。米奇利拥有超过百项专利，在美国得过各大化学相关奖项，离奇过世时还是美国化学学会主席。1940年他染上小儿麻痹后，设计出一套由绳索与滑轮组成的系统，以便自行上下床。1944年他却运气不佳而为自己的聪明才智所害，被自己设计的绳索机关缠住，吊死在自家床铺上方。[62]



米奇利

不过直到经济大萧条与第二次世界大战后，米奇利的发明才迅速风行起来。一直到20世纪30年代及40年代，氯氟碳化合物的销量均相当有限，1950年以前每年或许只有2万吨。但到了1970年排放达每年75万吨，悄悄对臭氧层全速发动攻击。1974年，科学家舍伍德·罗兰（Sherwood Rowland）及马里奥·莫里纳（Mario Molina）表示在理论上卤烃可能造成臭氧层变薄；1985年，法尔曼（J.C.Farman）进行观察后证实，这一现象的确已发生在南极洲上空。[63]后来的测量数字显示智利与澳大利亚上空有微小破洞。同时，北半球的臭氧保护网也略为变薄（1960—1995年变薄约10%），不过仅限于热带而非全部地区。[64]

由于紫外线B可能增加而令人忧心，这些初期的发现很快便引发政治响应。紫外线B会杀死海洋食物链中最基本的浮游植物，影响绿色植物的光合作用。它会对人类造成白内障等眼部疾病，抑制免疫系统反应，高危险族群更会因此罹患皮肤癌。20世纪70年代末期，美国、加拿大与斯堪的纳维亚国家均禁止在喷雾剂中加入氯氟碳化合物。这些做法的全面性效果不大：全球氯氟碳化合物释出量继续攀升。针对法尔曼的发现，联合国环境规划署（UNEP）就臭氧耗竭问题发起了1985年的《维也纳公约》，之后又有1987年的《蒙特利尔公约》，1990年（伦敦）、1992年（哥本哈根）及1995年（维也纳）均再修订，是国际社会对这个重大问题做出的重大响应。这些协议严格遏止了氯氟碳化合物的生产。多年来对氯氟碳化合物会损害臭氧层这种理论持反对立场的化学从业者，起初对这些议定书与修订多有抱怨，但也很快就找到了替代品。有些使用氯氟碳化合物作为溶剂的化学家，发现水或柠檬汁的效果一样好。1988年后氯氟碳化合物释出量下降。主要使用国（美国、欧盟、日本与俄罗斯）降低氯氟碳化合物用量达75%～100%（1986—1994年）。中国与印度的用量较过去增加，但全球的氯氟碳化合物用量还是降低了大约80%。这是好消息的部分。

不幸的是，氯氟碳化合物相当稳定，因此会在大气圈中长期滞留，而且有些在《蒙特利尔公约》之前释出的氯氟碳化合物，直到2087年仍会继续损害臭氧。因此，臭氧层变薄的现象至少还会持续10～20年，直到臭氧层慢慢再度强化。人类历史上的“紫外线世纪”，应该大约始于1970年，到2070年为止。[65]对生物圈，特别是表皮色浅的人类与浮游植物而言，很幸运的是氯氟碳化合物的商品化，没有提早10～50年出现，莫里纳、罗兰及法尔曼的科学发现也及时出现，再加上联合国环境规划

署主导牵线达成国际协议。

在“紫外线世纪”的前25年里（截至目前），或许因为大气圈臭氧流失而多出100万～200万个皮肤癌案例。[66]这代表约有1万～2万人提前死亡，主要集中在澳大利亚等白人居住的阳光普照地区。截至目前，其代价远不及空气污染所造成的呼吸道疾病。没有人知道超量紫外线辐射对免疫反应的完全作用，因此仍然无法了解氯氟碳化合物侵蚀臭氧层对人类健康的真实影响（更别提生物圈中其他生物）。但大气圈耗竭，这是另一个运气不佳结合米奇利的聪明才智造成的结果，且确定会在“紫外线世纪”结束前夺走成千上万的性命。[67]

20世纪结束时，气候变迁与臭氧耗竭虽然只带来中度影响，其未来却已大致底定，尽管没有人确切知道会以什么样的形式出现。空气中的微粒物质会被雨水冲走，大部分造成地方性或区域性污染的物质，也同样因自然过程而移动。因此只要不再增加污染物，地方性与区域性的空气污染很容易且很快就可逆转。全球性的议题就不同了。如果我们明天就停止向大气圈排放会破坏臭氧的化学物质，可能还是需要整整一个世纪才能再度享受到健康的臭氧层。在气候变迁方面，转机需要很长的时间。大部分在20世纪才被排放进大气圈的二氧化碳，会存留好几个世纪之久。（增加的甲烷大约只会维持12年。）二氧化碳不像煤烟那样可以冲刷殆尽，相反它会被海洋与生物慢慢吸收，且速度无法大幅加快。不论规模大小，其影响都无法在短时间内反转。因此就某一部分来说，20世纪的燃烧史已决定了未来数百年的地球状态。

太空中的污染

20世纪大气圈污染的规模，从地方性扩张为全球性，确切来说有些甚至超越了地球本身。自1975年苏联发射史普尼克（Sputnik）宇宙飞船以来，各大强权（包括商业及政治强权）已将数千人造卫星、火箭推进器及各式各样的太空垃圾弃置在近太空（near-space），以每小时3万千米的速度绕着轨道运行。在这样的速度下，就算是剥落的油漆碎屑，在太空中的数量都已达数百万片，这些都可能损伤卫星或宇航服。航天员在太空漫步时必须停留在宇宙飞船的影子下，以免有铆钉乱窜误入其路径。但是目前尚无相关的限制规定。有关当局的看法是，采取任何行动的代价都太高，反正太空这么大，总会容得下太空垃圾。但150年前的

工业家们，对大气圈也曾抱持同样看法。[68]

结论

20世纪空气污染的数量与后果都相当巨大，其规模与特性的变化亦是如此。以上结果显示，我们对大气所带来的改变，起于好几项同时发生、偶然且无法控制的实验。

这几项实验的后果第一是都会空气污染。它起步极早，但到了20世纪已达到足以通过呼吸道疾病杀死数百万人的地步。第二则是酸化现象，它大幅度地改变了北半球的区域性生态。第三是二氧化碳可能已造成地球轻微变暖，未来还会持续增温。第四则是氯氟碳化合物足以损耗地球生物赖以生存的臭氧层。

所有这些大气圈的变化，都是工业化无意间造成的效应。主要的驱动力是化石燃料的使用，但新科技也扮演了重要的角色（例如氯氟碳化合物和四乙铅）。工业化的背后有十分吸引人的高生活水平，对很多人来说至少消费本身就很吸引人，吸引人的还有采矿、冶金、发电及其他污染性企业的利润，还有国家、官僚及政客的政治权力，地缘政治的焦虑或野心，特别助长了德国、日本、俄罗斯、中国、巴西等国政府加速工业化的决心，几乎可以完全不顾后果。通过空气污染及暴力，数百万人的生命与健康就这样被献上了国际利益的祭坛。

始于20世纪40年代的降低空气污染行动，是了不起的政治行动。这需要医学研究人员、工程师、民权运动者、立法委员及官员间联手合作。在黑烟的防治方面，至少在美国、英国与日本，妇女都扮演了突出的角色。至于1975年后的与酸雨和臭氧相关的国际协议，也需要部长级官员、国家领袖与大企业的参与。几乎所有的空气污染（全球等级的问题除外），只要从源头处理都能迅速逆转。在大多数地区，发生空气污染问题时大多数的政治响应均十分恰当。但考虑到多数社会在思维与政治上均有其惰性，对大气圈变化的社会与政治响应其实都是很了不起的。正如塞缪尔·约翰逊（Samuel Johnson）在另一本书里提到的：有时某件事有没有做，要比做得好不好来得更为重要。

[1]Kaplan 1981：38–47.

[2]Ripley et al.1996：170–80；Dudka et al.1995：由于土壤中有数十年来有毒金属沉积物，当

地植物一直相当稀疏。高耸的烟囱（381米）并未排出太多重金属，而只有硫。1972年以前国际镍业公司（Inco）位于萨德伯里的熔炉所排出的硫占大气圈中总量的1%，是加拿大与美国酸雨的主因之一。农民的愤怒终于使国际镍业公司被罚款1500美元（1974年），约当于该公司一分钟所赚取的利润，Cox 1982。Quinn 1988详述了田纳西州东南部铜熔炉所造成的损失。自1930年起，当地由人为因素造成的沙漠多半恢复以往生机。Quinn 1989有对美国其他熔炉的描述。

[3]Vizcarra Andreu 1989。伊洛当地的污染排放直到1994年仍未获处理，但确实有针对去除硫污染进行规划（Murley 1995：284）。

[4]Peterson 1993：13：诺里尔斯克罹癌率请见Lincoln 1994：403。

[5]根据WRI 1996：206，诺里尔斯克熔炉杀死了35万公顷的森林，另有15万公顷遭毁损。Kotov and Nikitina 1996的估计更高出15%。另见Gytarsky et al.1995，其中有幅地图显示出一块广达3200平方千米、比罗得岛或卢森堡还大的地区内整体植物受损状况。

[6]此描述来自Br.ggemeir 1994 and 1990，以及Brüggemeir and Rommelspacher 1992。

[7]魏玛时期的德国（Wilhelmine Germany，亦即1871—1918年）有系统地变更法令，牺牲农民、渔民及林业从业人员而图利污染者。过去农民等享有权威式的保护，例如春季生长期熔炉必须停工（Gilhaus 1995）。魏玛时期的空气污染也请见Spelsberg 1984。

[8]捷克斯洛伐克2/3的电厂位于此地，每年产生每平方千米86吨的飞灰，以及每平方千米181吨的二氧化硫（Carter 1993a：77）。

[9]1990年比重已降至1/3（Carter 1993b）。

[10]Trafas 1991。这只包含呼吸道疾病的额外死亡案例，而不包括癌症。关于波兰西里西亚空气污染在健康方面付出的代价，请见Majkowski 1994。关于捷克请见Bobak and Feachem 1995，其中认为空气污染造成捷克20世纪80年代末大约3%的死亡率。

[11]Carter 1993a and 1993b；Klarer and Moldan 1997；Stanners and Bourdeau 1995：ch.4 et Passim；Trafas 1991。捷克数据来自Bobak and Feachem 1995及Moldan 1997。

[12]Dominick 1998详细探讨了这个主题。

[13]英国是这个头衔仅有的竞争者。波兰、捷克领土及其他社会主义国家的工业化较迟，因此直到20世纪末才发展出世界级的空气污染。

[14]这个说法及其后相关信息均摘自Hashimoto 1989。

[15]另一处重要铜矿，也就是邻近秋田的小坂，其污染与政治请见Okada 1990。第二次世界大战后日立矿区（茨城县）因为废水污染当地村庄而引发抗议（Miura 1975：286–305）。

[16]Morris-Suzuki 1994：203所引述。

[17]数据来自Miura 1975：244–56。

[18]日期来自Ibid.37。

[19]其他案例请见Hashimoto 1989及Morris-Suzuki 1994：202–7。

[20]请见Nishimura 1989：v。

[21]Hashimoto 1989：42.

[22]特定污染物数据请见Environment,March 1994,36：36。当时东京仍偶有臭氧问题，但已大幅减少二氧化硫、一氧化碳、悬浮微粒与环境中的铅，含量远低于世界卫生组织标准，有些案例浓度降幅高达75％～90%。大坂空气污染数据（大约1995年）相当于巴黎或伦敦。

[23]这些段落摘自Hashimoto 1989、Morris-Suzuki 1994，以及Tsuru 1989 and 1993。Hoshino 1992对日本环境史的评估较不乐观。同时请见Krishnan and Tull 1994；Broadbent 1998。

[24]直到大约1980年，酸雨中二氧化硫的比例向来是氧化氮的两倍。近来在欧洲与美国，比例已经逼近1∶1。另一个重要的酸性化合物是氨，后者主要来自农业。黑烟防治政策降低了工业烟囱所排放的微粒物质之后，酸雨问题才逐渐在欧洲与美国恶化。因为以前的飞灰及煤烟能中和大部分的硫，只要微粒排放受到抑制，酸雨就会变得比较严重。硫、氮及其他酸性化合物排放历史的概况，请见Graedel et al 1995。

[25]Brimblecombe et al.1986.

[26]俄罗斯接收了大量来自乌克兰、白俄罗斯与其他（位于上风处）前苏联共和国的酸雨（Cooper 1992）。

[27]Murley 1995：387收集了1980—1992年每个国家降低硫排放的数据。奥地利与斯堪的那维亚国家降低幅度达75%。克罗地亚、葡萄牙，特别是希腊（+27%）却逆势增加硫排放。

[28]Freemantle 1995检视了欧洲的酸雨协定。

[29]Hires品牌沙士的酸碱值为4.38；健怡可乐为3.32。1982年北美降雨的平均酸碱值为4.2。根据Ponting 1991：366，西弗吉尼亚州的惠灵曾创下降雨酸碱值达1.5的纪录，介于醋（2.4）与电池酸液（1.0）之间。

[30]Kotamarthi and Carmichael 1990。20世纪90年代，中国超越美国成为全球最大二氧化硫排放国，但中国北方的酸雨问题，却大多因为空气中（来自黄土地区）的大量碱性落尘中和空气中的硫酸盐与硝酸盐而降低。在长距离污染扩散与酸化问题方面，我参考了Aamlid 1990、Ayers and Yeung 1996、Elder 1992、Hashimoto et al.1994、Mason 1992、Rodhe 1989以及Stanners and Bourdeau 1995：ch.4 and 31。

[31]请见Rodhe et al.1995。Rodhe 1989表示酸雨的本质为地区性而非全球性，但1995年仍写出酸性化合物“全球规模的扩散”这样的字句。

[32]Freemantle 1995：11–2指出欧洲二氧化硫有2.5%来自北美。

[33]此处雨的酸碱值低于4.6，约为普通雨水酸度酸碱值5.5的10倍（Rodhe et al.1995）。蒸馏水酸碱值为7.0，为中性。降雨酸碱度偶尔低于3（H值为正常雨酸度的500倍）。在格陵兰冰层方面，请见Laj et al.1992，以及Science of the Total Environment特刊,1995：160–1。极地空气污染的一般信息，请见Barrie 1986、Barrie et al.1985及Shaw 1995。1870—1975年，格陵兰冰层的硫沉积率增为三倍。相较之下，1990年美国东部的人为硫沉积物约为自然比例的5～10倍。（Husar and Husar 1990：416）。

[34]世界银行数据为WRI 1996：22 and Hall 1995：77所引述。

[35]Murray and Lopez 1996：28（摘要），vol.9（细节）。

[36]世界卫生组织官网，1997年4月21日。

[37]虽然觉得这很无情，但理性上我仍偏向前者。

[38]WRI 1996：64–7。自然资源保护协会（Natural Resources Defense Council）在1996年表示，每年仅微粒物质就造成6.4万件死亡案例。

[39]低智商与血液中高浓度铅的高度关联性，当然意味着很多事情。分析美国各地人群毛发后发现，20世纪末人类毛发中所含铅低于19世纪末的水平，表示尽管大气中铅含量急速上升，美国人所吸入的铅还是减少了。烟囱、厨具与油漆当中的铅含量降低可能是背后原因。Weiss et al.1972。Moore 1995：45引述耶鲁大学医学院一名医生，表示波兰空气中的铅使10%～15%的人口不适合工作。有关曼谷儿童智商与铅暴露，请见WRI 1996：47。Williams 1998认为铅阻碍了数千万儿童的心智发展，比例在美国为17%，部分非洲城市更高达90%。

[40]世界卫生组织于1997年估计，每年有500万人因水源污染丧命（相较之下空气污染致命人数为40万）。世界卫生组织官网，1997年4月21日。

[41]Gilbert 1991：33–40。感谢Greg Maggio提供我有关悬铃木的知识。波兰的空气污染自20世纪60年代起便严重影响真菌、青苔与叶片寄生虫在克拉布科夫与罗兹（Lodz）的分布，推测其他地方也有受此影响。

[42]Fitter 1946：179–184。同时请见《纽约时报》1996年11月12日：C1、C6，报导了过去150年兰开夏（Lancashire）与底特律地区飞蛾颜色的演化。空气污染可能还影响了其他几种无嵴椎动物的数量变化。都会黑烟可能减少会飞昆虫的数量，让以其为主食的鸟类更加不易生存。

[43]此处伤害定义为落叶超过25%（Stanners and Bourdeau 1995：560）。

[44]其他说法包括气候变迁与疾病，可能有多重因素产生作用（Fuhrer 1990;Kandler and Innes 1995;Olson et al.1992;Kuusela 1994：135–6）。Kuusela在文中写到，森林的消亡减少欧洲林地面积达0.5%，以波兰、捷克斯洛伐克与德国为主。根据Holland and Petersen 1995：322–3，空气污染使奥地利、捷克共和国、德国、波兰与瑞士30%～60%的森林受到伤害。Lonkiewicz et al.1987说1970年波兰有20万公顷的林地因空气污染严重受损；1985年则有70万公顷，相当于波兰林地面积的9%。在联邦德国，von Maydell and Ollmann（1987）估计所有林地有半数为空气污染所损害；在奥地利，F.Tersch（1987）估计污染伤害了20%的森林。

[45]在美国，臭氧每年使农业产出减少10亿～70亿美元；在波兰，酸化现象使收成下滑3%～4%（Holland and Petersen 1995：323）。

[46]U.N.Economic commission for Europe 1992：53–81；Kucera and Fitz 1995；Matson and

Miller 1991；Norwich 1991；Sikiotis and Kirkitsos 1995；Trudgill et al.1990。同时请见Science of the Total Environment特刊，1995,167。

[47]Salmon et al.1995。相关问题请见Deshpande et al.1993（印度），以及Keskinler et al.1994［土耳其埃尔祖鲁姆（Erzurum）］。美国华盛顿因为降雨酸碱值达4.2，许多石灰石、大理石建筑与纪念碑都可看出腐蚀痕迹。

[48]根据《经济学人》（The Economist,21 March 1998：4）一篇名为“Development and the Environment”的调查所报道。

[49]认为科学家形成一个“知识社群”，献身有别于外交官职责的利益及更易于协调之利益的说法，曾在专为地中海所订定的协议中出现，但也适用于其他国际性空气质量协议（Haas 1990）。

[50]详细评论包括de Gruijl 1995、IPCC 1996及Turco 1997。

[51]其他包括一氧化二氮及卤化碳（包括氯氟碳化合物与有时用来替代氯氟碳化合物的氢氟烃）。IPCC 1996 1：15–21检视了这些气体对“辐射作用量”（radiative forcing，指大气变化所造成的气候变迁）过去与未来可能产生的相对贡献。

[52]IPCC 1996 1：5如是说：“综合各种证据发现，看得出人类对全球气候的确造成影响。”美国全球气候研究计划（U.S.Global Change Research Program）1998：14的说法就没有这么保守：“最新统计测试显示，目前观测到的暖化现象，其中多数确实为人类活动所致。”

[53]根据美国太空总署（NASA）、国家气候数据中心（National Climate Data Center）以及英国气象局（U.K.Meteorological Office）所收集之数据（reported in Science News 17 January 1998,153：38中之报道）。请见《华盛顿邮报》，1998年7月13日。

[54]Mann et al.1998。

[55]《华盛顿邮报》，1997年4月17日。

[56]请见Dennis 1996：165。1995年，拉森冰架（Larsen Ice Shelf）有块200米厚的冰脱落掉入海中，面积相当于罗得岛或卢森堡。

[57]Berz 1990.

[58]2100年全球暖化预估数据的范围极广，从1～5摄氏度起跳。至于各种状况下所导致的结果，请见IPCC 1996。

[59]Rosenzweig and Hillel 1995。

[60]如果未来人类将已知煤炭矿藏燃烧殆尽，大气圈中的二氧化碳会是1850年的4倍，平均气温将超过过去2亿年来的任何时期，而且海平面可能会升高10～20米，足以淹没世上所有大型城市。不过这得花上几个世纪的时间，因为地球还有很多煤炭矿藏（Kasting 1998）。

[61]明确来说，臭氧会吸收少部分的紫外线A以及全部的紫外线B。紫外线B从生物学上来说具有危险性，而真正令人担心的是臭氧层吸收能力下降。在与氧气一起作用下，臭氧能吸收紫外线C。这种波长最短的光线，用来杀菌时甚至足以致命。

[62]就像哈伯也致力于从海水中萃取物质，不是金而是乙基汽油的溴。其生平描述请见Dictionary of American Biography,supplement 3（New York：Scribner’s,1973）：521–2。

[63]法尔曼的数据引起怀疑，因为它们与卫星记录不符。但卫星数据是错误的：用来记录的计算机被设定成排除特定范围以外的观察结果，根据的理论是：它们一定有错。好一个警世的故事！

[64]在1979—1992年，北半球纬度地区（北纬45—55度）会伤害DNA的紫外线辐射量增加了4%～9%。请见U.S.Global Change Research Program 1998：37。氯氟碳化合物之外有几种气体也能释放出伤害臭氧的成分。杀死臭氧的其实是氯与溴。溴主要通过杀虫剂（溴化甲烷）释放至空气中。

[65]不论真假，各项预测数据认为21世纪初臭氧耗竭平均将达5%，最高则为高纬度地区的10%。将有10%的紫外线B穿透到地球表面，高于1960年水平，且皮肤癌将以类似比例增加（Turco 1997：434–5）。这些预测涉及多种假设，其中多与未来的氯氟碳化合物释出量有关。

[66]NASA 1991年预测，美国2040年以前将增加20万个皮肤癌案例。

[67]De Gruijl 1995。臭氧政治请见French 1997。

[68]有关太空垃圾请见Scheraga 1986；以及《经济学人》1997年3月29日：87–8。负责追踪太空轨道中残骸的美国太空指挥部，在1997年推测太空中约有8649件比葡萄还大的人工物体，以

及超过200万件较小的物体。

第4章 水文圈：水源使用与污染的历史

上善若水。水善利万物而不争，处众人之所恶。

——老子

人类需要水，就像需要大气中的氧气与土壤种出的食物。在人类历史的大部分时间里，我们对水的需求仅止于饮用。但过去几千年来，人类还用水灌溉农作物、排放废弃物、清洗我们的身体与所有物品，近年更利用水为工厂与机械供电。不论是个体与社会都花费相当大的精力来确保供水无虞，特别是从摩洛哥到中亚的干燥地带。在现代工业化、大量使用能源与都市化的浪潮下，每个社会都需要更多的能源来移动及控制水源。但与此同时，也使用、浪费并污染了更多水源，而且更为彻底。所有社会的健康、财富与安全，均依赖于是否能在适当的地点、适当的时间取得足够的清洁水源供应，而无须在过程中造成太大损失。追求财富与安全的过程中不免会污染水源，常使上述任务更加复杂。成功的话不能保证什么，除了适当的水源以外，健康、财富与安全还需要许多其他条件；但若失败，却一定会造成健康受损、经济疲软。虽然各界并不总是这么认为，但水源管理在过去的确是一项重大的技术与政治挑战。

水的基本面

地球是由水所组成的星球，是太阳系中唯一有液态水存在的地方。柯勒律治（Samuel Taylor Coleridge）曾经在《老水手之歌》（*Rime of the Ancient Mariner*）中写道：“水，四周都是水，但无一滴可饮。”这描述可以说相当接近地球的状况。

在体积达14亿立方千米的水文圈中，超过97%为海洋中的咸水。[1]所幸对人类而言，由于太阳造成海水淡化与净化的机制，每年会有约50万立方千米的海水以雨水或雪的形态落在地球上。这是全世界淡水储量

的来源。现在其中多数（69%）都存在冰帽与冰河中，几乎全数都在南极；剩下的几乎（98%）都在地底含水层深不可及处。[2]全球淡水仅约1%（约9万立方千米）位于湖泊与河流这些容易取水处。其中又有1/4位于西伯利亚的贝加尔湖（Lake Baikal）。还有少量淡水位于永冻带的大气圈中及生物体内。

全球的可再生淡水流量，略低于整体淡水储量。在各洲大陆，储存的雨水比蒸发的还多，差别在于全球的河流径流（约每年4万立方千米）。这其中有2/3在洪水中流失，因此每年约有1.4万立方千米的水量可供日常使用。这相当于每人每年有超过2000立方米，数量相当充足。但全世界水源的分配并不平均。有20～30个国家（大多在非洲或亚洲西南部）不到这个数字的一半，且以水文学家的传统测量方式来说是属于缺水状态。南美洲每人平均分得水量为亚洲的10倍，非洲的5倍。一年当中的水量分布也不平均，因此许多地方在某些时期不是（人类用）水太多就是水太少。乞拉朋齐（Cheerapunji，位于印度东北阿萨姆邦）是世界上第二多雨的地方，夏季雨量约有9000毫米。每年当中约有6个月水量供给充足，甚至可以说超量。但剩下6个月情况往往并非如此。[3]淡水分布不均，加上长途运输所费不赀，水源供给已成了人类事务的一大约束。为解除这方面的问题，许多国家均投入大量资金。

全球水源的使用与供给

在水源使用的历史上曾出现许多变化，但有件事情是永远不会改变的。现代跟过去一样，人类使用水源主要是为了灌溉。大部分历史悠久的社会与帝国，都是奠基于对水源的掌控，其中尤以河水为甚。埃及、美索不达米亚、印度与中国文明都建构在灌溉、河运之上，并使用河水来稀释与带走有害废弃物。熟练的水源管理还支撑了安第斯山与美洲中部的文明。人类用水灌溉已有9000年历史，用来带动磨坊也有2000年之久。现在我们还需要水的工业用途，例如水力发电，还有各式机械的冷却与清洁。当然我们还需要水来饮用并稀释废弃物。根据水文学家的说法，我将水源用途分为三大类：灌溉、工业与都会。

水源史上绝对可以确定的一件事是，目前人类用水量远远超过以往。1700年全球约有7亿人口，淡水总用量可能达110立方千米，其中90%用作灌溉，且几乎全数用于亚洲。表4.1大致列出了1700年以来的用

水量变化。

如果这些数字确实无误，1990年淡水用量约为1700年的40倍。仅在20世纪，用水量就暴增9倍。增加的部分大多因为人口增长，同期人口增加约4倍。这表示20世纪90年代人均用水量，为1900年两倍再多一点儿。[4]在世界上较为富庶的地区，20世纪70年代后部分受反污染法规影响而提高水源使用效率，水源的使用开始趋稳。在美国，用水总量在1980年左右达到高峰，尽管同期美国人口增加约4000万，截至1995年用水量减少了1/10。[5]

表4.1 全球淡水估计值（1700年至20世纪90年代）

			用途[a]		
年份	用量（立方千米）	人均用量	灌溉（%）	工业（%）	都会（%）
1700	110	0.17	90	2	8

续表

			用途[a]		
年份	用量（立方千米）	人均用量	灌溉（%）	工业（%）	都会（%）
1800	243	0.27	90	3	7
1900	580	0.36	90	6	3
1950	1360	0.54	83	13	4
1970	2590	0.70	72	22	5
1990	4130	0.78	66	24	8
2000[b]	5190	0.87	64	25	9

数据源：根据L’vovich and White 1990及Shiklomanov 1993

注a：因为四舍五入，每年百分比加总并不等于100%。我去除了Shiklomanov水库的部分，因为规模不大且在1970年之前均可忽略。

注b：此为预估值。

20世纪全球水源需求大幅增长，但20世纪90年代的水源用途与需求地区，与1900年相比仍没有太大改变。虽然工业与都会用水增长，灌溉仍然为用水大宗。从表4.2来看，各洲水源用量的分配似乎更为稳定。就像1900年时一样，亚洲使用的水量比其他各洲总和还多。这并不令人意外。亚洲人口比其他大陆总和还多，拥有全球将近1/3的河流径流。各洲大陆用水量分配唯一的明显变化，就是20世纪前半期北美消耗量增加，还有1950年后南美用水量小幅增加。然而在这两个地区，水源使用模式有了很大的改变，其中有部分原因就是城市的崛起。

表4.2 各洲大陆水源使用分配（1900—1990）

		占全球淡水用量比例（%）[a]		
	河流径流（占全球%）	1900年	1950年	1990年
亚洲	32	71	63	60
欧洲	7	12	13	13
北美	18	10	17	18
非洲	10	5	5	6
南美	26	2	2	4
大洋洲	5	~	1	1
		≈100	≈100	≈100

数据源：根据L’vovich and White 1990及Shiklomanov 1993

注a：因为四舍五入，每年百分比加总并不等于100%。

都会用水

城市向来面临取得适当饮水与稀释废弃物用水这两个难题。最简单

的方法——把废弃物排至最近的水道，并从中取水饮用——只能用在人口稀少且水源丰富之地。人类历史初期就出现了更为复杂的方法，也就是把饮用水与排废用水分开。但如果失败就会导致都会居民死亡或提早死亡。19世纪末有关疟疾（19世纪50年代）与伤寒（19世纪80年代）传染途径的新知，让各界注意到都会水质的重要。伊斯坦布尔这个缺乏淡水的古老城市，还有水量丰沛的新城市芝加哥，它们的故事便突显出都会水源供给与都会污水的问题。

伊斯坦布尔（旧名君士坦丁堡，之前称为拜占庭）长久以来便拥有先进的供水系统。它的位置虽极具战略重要性，但淡水供给也因此非常有限，只有一条流入古老港口金角湾（Golden Horn）的河流，导致这座城市的居民很容易污染水源供给，使其不适合饮用。清洁水源的缺乏限制了这座城市的发展。古罗马与拜占庭时期的工程师创建了水坝及沟渠，并挖掘巨大蓄水池来解决问题。1453年奥斯曼土耳其帝国占领这座城市并以其为首都，在此建造更多渠道，其中多数建于16世纪伊斯坦布尔大幅扩张期间。伊斯坦布尔的供水系统多为当时最伟大建筑师锡南（Sinan）所设计。利用这套系统，伊斯坦布尔可自20～30千米外取得用水，进而成为公元1600年之前全世界最大城市之一。[6]20世纪它的发展幅度更大，因此需要更多供水。

结果，虽然部分奥斯曼时代的系统仍在使用当中，但是1923年从奥斯曼帝国灰烬中崛起的土耳其，建造了好几座新水坝与许多水管，将伊斯坦布尔的范围延伸到120千米以外。20世纪20年代，这个崭新的共和国将首都迁至安卡拉。但到了20世纪50年代，土耳其全国人口的快速增长与乡村人口外移，使伊斯坦布尔每年膨胀10%。大部分新来乍到的居民，在城市边缘自行建屋居住，生活在没有水管或下水道的环境中。20世纪60年代与70年代，这些屯垦区向四面八方扩散，最后终于累积了足够的政治力，要求政府接通市内的供水与下水道系统。1980年之后，伊斯坦布尔（人口将近千万）大量取用博斯普鲁斯海峡亚洲这一侧的水源，经由水管从海底接运。但到了1990年供水仍旧不足，夏季常需节约用水。[7]正如世界上的许多城市，如何因应都会扩张并维持水源供给，持续困扰着有关当局以及必须靠有限水源度日的老百姓。

芝加哥这个年轻城市，则创建在全球最大湖泊之一的基础上。但它也在19世纪因为快速扩张而出现水源问题。芝加哥人将废弃物丢入湖畔与芝加哥河（流入密歇根湖），污染了水源供给。1848年，3万名芝加哥人丢进河流与湖泊的废弃物造成的问题不大，但当南北战争后城市人

口暴增，以前的处理方式就必须改变。市府当局不断加长通往湖区的水管，企图汲取未曾被城市污染的水源，但管线增设仍然赶不上芝加哥的快速增长。直到1900年，芝加哥因此爆发伤寒疫情。仅在1885—1886年，芝加哥附近有9万人（包括全市人口的12%）死于水源相关疾病。1891—1895年，每年约有2万名芝加哥人罹患伤寒。这次疫情引发美国史上仅次于巴拿马运河的工程计划：芝加哥都会卫生特区改变了芝加哥河与卡拉麦特河（Calumet River）的流向，因此到了1900年，这两条河不再流入芝加哥的引水供应系统，而是直接流向伊利诺伊河，并顺流而下进入密西西比河。因此芝加哥的污水，包括来自全球最大牲畜屠宰场的动物内脏，再也不会威胁到芝加哥人，而是漂到乔利埃特（Joliet）、圣刘易斯及新奥尔良。伤寒及其他借由水传播的传染病因此成为历史。《纽约时报》还以头条刊出这则新闻：“芝加哥河水恢复液态”。[8]

5. 水质史主要分布图



普捷湾
西雅图
华盛顿湖
华盛顿湖
荷兰
莱茵河盆地
科隆
波恩
比利时
卢森堡
法国
德国
巴塞尔
瑞士
菲斯河
塞布河
塞布河
拉巴特
菲斯
菲斯河
足尾
渡良濑川
盆地
渡良濑川
东京
北冰洋
苏黎世湖
波罗的海
莫诺那湖
密歇根湖
芝加哥
切萨皮克湾
黑海
君士坦丁堡
地中海
首尔
黄海
达喀尔
卡拉奇
马德拉斯
墨西哥市
太平洋
亚马孙河
刚果河/
扎伊尔河
印度洋
大西洋
罗讷河
波河
的里雅斯特
亚得里亚海
黑海
里昂湾
塞萨洛尼基
伊兹密尔
雅典
伊斯肯德伦
突尼斯
地中海
地中海
恒河盆地
恒河
瓦拉纳西
加尔各答
孟加拉湾

适合芝加哥人的做法不一定适合邻近城市。其他五大湖区美国各州的居民，还有加拿大的安大略省，认为芝加哥河的改变使五大湖的湖面降低，它的确让密歇根湖与休伦湖的湖面降低6～8厘米。五大湖区各州、安大略省及美国联邦政府多次控告芝加哥与伊利诺伊伊州，此外圣刘易斯及其他位于芝加哥污水排放接收端的社区，也同样提出控诉。由于1930年后立法限制，芝加哥与邻近地区逐渐转向地下水，但1959年因为超量使用，邻近的威斯康星州愤而提出诉讼。1985年之后，这个状况因为密歇根湖水量增加而得以纾解。芝加哥世界级的污水处理厂也大有帮助，排出的废水达到极高的标准。[9]取得足够的水源对于正在增长的城市来说，是个往往会激发出独创解决方式的问题。然而，如何保持水源清洁就是另一个问题了。

人类最大分野之一发生在1850年，依照是否能够提供安全饮水而将社会分为两类。在1850年前，几乎所有的都会型与部分乡间型社会均饱受病原体与生物污染之苦。1850年后，欧洲西北部很快便开始出现极大变化。伦敦与巴黎建造了污水系统，部分原因就是为了对抗疾病。这些系统直接汇入泰晤士河与塞纳——马恩河，让两条河腐臭且带有致命危险。英国国会大厦一度必须在窗上悬挂吸满漂白粉的麻布，以防止议员们闻到泰晤士河的恶臭。19世纪80年代科学家发现疟疾、伤寒与其他传染病的传染途径后，西欧与北美城市兴建了数千座滤水场，来净化家用水源供给。1908—1910年芝加哥进行实验后，数百座城市采用能杀死大部分微生物的氯化处理。[10]过滤与氯化处理大幅降低了都会的死亡率。在20世纪90年代，美国每年有数千人不幸因由水传染的疾病死亡，只占150年前水平的一小部分。[11]

到了1920年，几乎所有富国的大城市都能为市民提供安全饮用水。污水处理的普及则较晚。例如莫斯科及马德里等位于小河附近的大城市，很快就不再利用水源吸收有机废弃物。直到1912—1915年英国工程师开发出污泥活化程序，才开始有初级污水处理（以过滤器慢慢过滤）。[12]在20世纪20年代与30年代，西方大城市开始建造污水处理厂。华盛顿于1934年首次拥有类似设施。莫斯科在20世纪30年代末期建设了小型处理场，大型设施则出现于60年代。东京则始于1945年。技术的改良与大笔投资接踵而来，特别是在1970年之后，所以到了20世纪90年代，污水处理厂所排放的水已可以饮用，水质往往优于污水汇入的水域。[13]

20世纪像这样成功管控致命生物污染扩散的案例，在全球分布相当

不均。相对于美国与欧洲西北部，印度与中国部分地区的人民，仍因都市增长期间污水处理进展有限而饱受病原体负荷加重之苦。非洲与亚洲的殖民城市，只有欧洲属地才有水源过滤与污水处理系统，而非整座城市，因此在坎帕拉（Kampala）或者是阿尔及尔这些地方，会根据财富与种族的差异而出现不同的卫生体系。在加尔各答，较为富有的社区从1870年起就有过滤与污水系统。1911年后供水系统便开始退步，因为英属印度将首都迁往新德里。英国人在马德拉斯（Madras）留下一座约建于1940年的污水系统，但直到1980年左右才有污水处理。至少到1980年，全球都会人口中约有半数没有任何废水处理系统，而中国的比例更高达90%。1995年，大马尼拉地区有89%的居民并未连接任何污水系统，达喀尔（Dhaka）的比例则为82%，卡拉奇为80%。相较之下，墨西哥市只有20%的居民没有下水道，首尔则为14%。[14]

1880年后都会用水的供应与处理出现分配不均，是贫富差距越来越大所引发的现象之一。相对富有的人拥有清洁用水与良好下水道，并因此变得更健康、更富有。缺乏这些设施的人，正是因为负担不起而无法拥有，却因为没有这些设施而变得身体更差、更穷。经济学家用“报酬递增”（increasing returns）一词，来形容这种拥有更多就得到更多的状况。借由投资洁净供水而产生的报酬递增，有助于创造并扩大已成今日全球现象的财富与健康杠杆作用。

河水

大部分的都会用水都来自河水。千年以来，河流带走了人类产生的废弃物，如有大河经过有效稀释，则此一做法不会造成太大伤害。过去亚马孙或刚果（扎伊尔）河盆地的人口尚不多，对河中大量河水所能造成的污染有限。但流经人口密集地区的河流（例如恒河）、位于工业区（例如莱茵河）或采矿区（例如渡良濑川）的河流，还有小河［例如菲斯河（Oued Fez）］，都是在现代才出现生物与化学废弃物的有毒物质。

恒河　印度有1/4的地区靠恒河排水。[15]1900年恒河盆地里住了约一亿人口，其中可能有上千万人口直接将废弃物倒入恒河。1886年，恒河的恶臭使当地成为全球最早推动反污染的社会之一。1896年马克·吐温到恒河地区旅行，发现瓦拉纳西的水因为下水道“秽物不断涌出”而“令

人作呕”。[16]到了1990年，有4.5亿人住在这个盆地中，约7000万人将废弃物排入恒河。1990年就跟1900年时一样，几乎所有的污水都未经处理。腐败作用造成河水中全无氧气，鱼群几乎无法生存。因为人口快速增长，20世纪末恒河的生物污染可能是世纪初的5～10倍。全球应有数百条河流有同样状况。

但恒河在某些方面的情况较为特殊。除了世俗的原因之外，它还因为一些神圣的因素造成污染。在印度教信仰中，神祇创造恒河让人洗净罪恶。印度教徒相信，在瓦拉纳西［又称贝那勒斯（Benares）］死亡或火化能确保灵魂的解放，因此瓦拉纳西吸引了数百万年迈与患病的印度人。在20世纪80年代，瓦拉纳西官方火化场每年要处理3000万具尸体，每月倒入恒河的骨灰达数百万吨。还有许多部分火化或完全未经火化的尸体（因为薪柴费用过高）直接推入河中，以及大约6万具的动物尸体。20世纪60年代首次进行有系统的污染研究时，相关人员发现恒河根本就是细菌学的噩梦，之后状况更是越来越糟。20世纪60年代政府开始致力清理恒河，并整合成为1985年的“恒河行动计划”（Ganga Action Plan），但效果不大。恒河最重要的变化是细菌污染的恶化，并非肇因于工业排放，而且因为河水流量大，1990年之前工业污染并不明显。[17]在恒河里沐浴或许可以洗净灵魂，但绝对无法洗净身体，而且情况越来越严重。



虔诚的印度教徒希望肉身能在印度恒河的瓦拉纳西焚化，以确保灵魂能从轮回与苦痛的循环中解脱。图为1985年当地准备生火焚化尸体的情形。到了20世纪80年代，瓦拉纳西的官方火化场每年火化约3000万具尸体。火化形成的骨灰通常倒入恒河

莱茵河　工业化国家的情况正好相反：来自科技变革与经济增长而非人口增长的化学污染，威胁着河流与湖泊。工业革命对西方世界的水域带来深远的影响，其中又以英国最早出现。到了19世纪中叶，工厂将大量有毒废水排入英国各地河流。1866年，英国皇家委员会发现英格兰北方卡尔德（Calder）的水几乎可以当作墨水使用（委员会甚至用当地的水来写报告）。流经布莱福德（Bradford）这个污染严重城市的布莱福德运河，情况更加糟糕：有人发现布莱福德运河竟然可以点着，有时附近男孩更以此为乐。他们点了火柴放在木棍一端，伸向运河点燃河面，高达1.8米的火焰顺着河水延伸数米之远，就像鬼火一样。[18]

19世纪采取了一些改善措施，但大体来说至少在20世纪60年代之前，工业国家的河水与湖水接收了更大量且多种的化学物质。1869年，“沾满厚厚一层肮脏泡沫残渣”的艾威尔河（River Irwell，位于英国），到了20世纪50年代还是早上呈鲜橘色、中午前便呈现墨黑色的状态。[19]1972年有人描述东京隅田川的情景，就好比英国皇家委员会报告的现代版：受到污染影响，这条河流过去常见的水上活动，游泳、赛舟、烟火秀，都已消失。从河里冒出的气体侵蚀了金属，让铜制与银制器皿变黑，并缩短了缝纫机与电视机的寿命。[20]

同样的主题发生在数不清的河道上。莱茵河的故事一定代表了其他许多河流。莱茵河流经大约1300千米，从瑞士阿尔卑斯山一直到北海。1765年之前这条河流一直畅行无阻，水质干净到连鲑鱼这种敏感的鱼种都能生存，而且数量多到仆人都抱怨太常吃鲑鱼。随着城市与污染扩大，像诗人柯勒律治这样敏感的人开始受不了都会废弃物，因而在1828年拜访科隆时，有感而发写下了《科隆》（*Cologne*）一诗：

> 在科隆这僧侣与遗骨之城池，
> 人行道铺满了用以杀戮之石，
> 满是衣衫褴褛的人、巫婆和丑陋的丫头；
> 我数到七十二种恶臭，
> 全都其来有自，还有几个奇臭无比！

统治下水道和沟渠的女神们，
举世闻名的莱茵河，
洗净你的科隆城吧；
但告诉我，女神，什么样的神力
才能在日后洗净莱茵河？

在长达150年的时间里，不论是否有神力都无法洗净肮脏而满是泡沫的莱茵河。1880年之后，日益严重的化学污染让问题更加严重。

由于邻近鲁尔河谷的煤矿与铁矿，莱茵河流域中段在19世纪成为工业区。到了19世纪90年代，当地钢铁生产在全球拥有高度竞争力，而且产量攀升。莱茵河适合航行的特点，经年水流稳定，吸引了其他产业，包括德国强大的化学工业。到了1914年莱茵河污染负担沉重，鲑鱼变得相当少见，5月时鲟鱼从莱茵河下游逆流而上（甚至成为节日仪式）的现象也完全消失。最后一次捕到鲟鱼，是在1931年。

战争期间（1944—1948年）法国与德国工业饱受摧残，战后也停滞了一段时间，莱茵河因此得以短暂休养，但经济复苏与德国经济奇迹（1950—1973年）使河水状况更加恶化。到了1980年，全球约20%的化学产出来自莱茵河盆地。冶金与化学工厂的铜、镉、水银渗入河里，都使得废水内含锌、镍和铬。在1900—1977年，莱茵河沉积物重金属含量中，铬增加了5倍，镍增加了2倍，铜增加了7倍，锌增加了4倍，镉增加了27倍，铅增加了5倍。荷兰水文学家抱怨德国工业让荷兰变成一片金属板。即使没有人抱怨，同样的情况也发生在无人的北海的沉积物之中。[21]法国阿尔萨斯（Alsace）开采碳酸钾的作业，让1880—1960年莱茵河的盐含量增加6倍，危及以莱茵河水灌溉兰花与剑兰的荷兰花卉业。1948年之后，磷与氮的养分负载成了另一个问题，因为这会刺激藻类过度生长，进而堵塞船泵并阻碍航行。藻类的腐败会消耗氧气，让其他物种无法生存。之后再加上新型的有毒有机化学物，例如DDT（一种有机氯杀虫剂）及PCBs（多氯联苯），造成1950—1975年莱茵河下游几乎找不到鱼类，而且比以往还要脏臭。20世纪80年代，谨慎的钓鱼爱好者会把渔获丢回河中，因为莱茵河鱼的PCBs含量，比官方认定的可食用标准高出400倍。[22]由于人口众多、重工业密度高，且盆地农业化学依赖度高，莱茵河可说集河流所有污染于一身。

第二次世界大战后开始通过污水处理清理莱茵河。1964年德国要求使用生物可降解的洗衣粉。德国、法国与荷兰签署的国际协议，自20世纪70年代起限制了多种形式的污染。1975年之后，河中大部分的重金属浓度（而非沉积物）大幅下降。自1885年开始且自1915年起特别严重的鱼群数量下滑，到了1976年后开始增加。位于瑞士巴塞尔附近的山的士药厂（Sandoz）化学仓库在一场大火后，终于采取了更有效的行动。消防队对着仓库洒水，将杀虫剂、除草剂与杀菌剂冲刷到莱茵河中，下游180千米内所有生物无一幸免。虽然多数水中生物能在两年内恢复，这件事还是引起了官方与工业领袖前所未有的关注。之后陆续推出各种限制法规、鼓励措施并严格执法。直到1992年，渔民才再次从河中捕到鲑鱼。[23]

渡良濑川与足尾铜山　莱茵河受到数百家工厂污染，日本的渡良濑川的污染来源则只有一个：那就是从1610年起开采的（日本中部）栃木县足尾铜山。在德川时代（1603—1868年），足尾铜山提供了日本大部分的铜，但1877年被古河市兵卫这位靠丝绸生意大起大落的杰出实业家收购后，几乎停止生产。他让矿场作业现代化并加以扩张，并在1883年发现一处丰富矿脉，让足尾铜山成为亚洲最赚钱的铜矿。日本军事化的国家政策需要足尾铜山，因为19世纪90年代日本钢铁有95%必须进口，而足尾的出口可赚取外汇，有助于购买钢铁。铜是日本第二或第三大出口货物，其中约40%产自足尾。这是日本最重要的一个矿场。有关当局因此全力支持古河。

古河事业的扩张与现代化，给足尾附近的水源与空气带来更严重的污染问题。到了1888年，熔炉所造成的硫酸雨，让5000公顷森林死亡并污染当地水源。由于山坡失去了植被覆盖，洪水变得更为频繁。矿渣渗入邻近的渡良濑川，有的则被倒入河中，污染了用来灌溉农田的水源。当地农民因此生病而且感到愤怒不平。19世纪90年代，人口约三万的足尾城死亡率高于出生率。有毒的水源杀死了农民传统上用来补充食物的鱼和飞禽，住在渡良濑川附近的人都知道，是古河的矿场危害了他们的稻米、健康与生命。

学者、记者与地方出身的国会议员田中正造发起了一项运动，要求关闭矿场与熔炉。数千名农民三度到东京发动游行（1897—1898年），与警方发生激烈冲突并引起各界关注，迫使政府要求古河装设防污设备。但当时的技术原始且效率不高，酸雨及河流污染的问题仍在持续。1900年，第四次游行引发政府强力镇压：因为足尾矿区对国家太重要

了，不容附近民众表示反对。在日俄战争（1904—1905年）期间爱国主义气氛与压抑下，农民反污染运动的动力尽失。1907年的矿工暴动是日本劳动史上一大里程碑，背后一部分的动机就是污染所引发的民怨。[24]直到足尾约有450户人家被放逐至日本北方岛屿北海道，民间抗议才告一段落。之后，足尾在相对平静中继续危害邻近小区。古河在1955年装设了脱硫设备，并于1972年关闭矿场。1974年，当地农民因百年来的空气与水源污染而获判数百万元的赔偿金，成为法律判例上的一大里程碑。而渡良濑川盆地则成了日本工业化的牺牲品。[25]

摩洛哥的菲斯河 摩洛哥的菲斯河是全球河流的典型案例。[26]这里没有铜矿，也没有化学工业，更不是圣河。但沿河岸分布着一座城市与许多农场。菲斯河流经菲斯这座城市（1995年人口约有100万），然后汇入更大的塞布河（Sebou River）与大西洋。10世纪时，菲斯就建造了供水与下水道系统，这使得菲斯河在菲斯城以上的河段相当清澈，而下游则肮脏不堪。1371年，来自格拉纳达（Granada）的学者里桑努丁·伊本·哈提布（Lisanuddin Ibn Al-Khatib）在见到菲斯城的人之后，对当地污染有感而发地写道："我如同这里的河流一样进入这座城市，也如同河流一样离开。"

有鉴于城市对菲斯河这条小河造成的影响，统治者因此在上游创建新城市。13世纪时，美力尼德王朝（Merinid）在上游创建新的菲斯城，1912年占领摩洛哥的法国人也有同样的举动，只是地点更接近上游。这一切努力，都是想要避开人类排泄物以及制革业等长久存在于菲斯城的手工业污染源。从20世纪60年代，菲斯河也出现来自赛伊斯平原（Saïs plain，位于该城不远处上游）的化学肥料径流。到了1990年，菲斯城附近下游河水中有好几种污染物的含量为法定限制的5～10倍，与伊本·哈提布的时代相比，可能脏了50倍。菲斯河这条位于穷国、流经大城市的小河流，对于污染可说几无抵抗力，也没有适当的设备可以解决问题。20世纪有数千条河流都有同样状况。

湖泊与富养化

如同解决地区性空气污染一样，要让河水变得干净可以很简单。但湖泊就是另外一回事了，因为被污染的水不会只滞留在湖中几天，而是数十年之久。在21世纪，工业区的湖泊里出现了各种污染物。某些位于

工业用烟囱下风处的案例中，湖泊因为酸雨而呈现酸性（参见第3章）。一个最普遍的问题出现在20世纪30年代——富养化。

每个生态系统都有抑制生命的限制因子。在大多数的水体中，氮和磷都不是扮演这样的角色。但如果这些限制因子不明原因失去控制，造成氮和磷的含量异常飙高（富养化），那么水中植物与细菌（特别是蓝绿藻）就会快速生长。它们死掉后，腐败的过程会消耗氧气，那么其他物种就会缺氧。接着水中生物圈就会出现快速变化。藻类大量繁殖也会使得水质不适合饮用、游泳、航行及其他用途。与冰凉而有气泡的水相比，温度高的死水含氧量较少，因此特别容易发生这种状况。过多的氮与磷通常来自城市下水道，而在工业肥料问世后，农场径流也是来源之一。

富养化可能自然发生在老化的湖泊。但1850年后，人类活动造成越来越多类似的案例，在城市湖泊最常发生。美国威斯康星州麦迪逊的曼多塔湖（Lake Mendota），1850年后几乎每年都发生藻华（algal bloom）现象；1898年之前，瑞士苏黎士湖饱受富养化之苦，1930年后也定期爆发。从1946年开始，意大利阿尔卑斯山区的湖泊便出现富养化现象，到了20世纪60年代，湖面偶尔会被藻华覆盖。受人类排泄物影响，大城市附近的小湖泊最早出现富养化。1945年之后，洗衣粉中添加的磷酸盐让问题更加严重，甚至连大型湖泊［例如伊利湖（Lake Erie）］都饱受富养化之苦。西雅图华盛顿湖就是这类问题及其解决之道的一个案例。

在20世纪30年代，西雅图未经处理的污水，造成了华盛顿湖中富养化与小规模的藻华现象。1936年部分污水转而排向普捷湾（Puget Sound）后问题才告缓解。但20世纪40年代末期郊区快速发展，使问题死灰复燃，到了1955年湖面满是藻华。随之出现一番政治角力。到了1963年，郊区开始将污水排入普捷湾，华盛顿湖再度干净了起来。普捷湾的规模较大，再加上磷酸盐添加物的管制及污水处理的改善，使其不至于面临华盛顿湖那样的命运。

第二次世界大战后，随着欧美城市污水处理普及，湖泊与河流来自城市的养分负载降低，但减少的部分却远不及化学肥料大幅增加的影响。田地与养殖场的径流，成了过度养分的主要来源。除了放弃使用化学肥料外，当时并没有处理城市废水之类简单（却昂贵）的解决方案。因此偏远地区湖泊与河道普遍出现富养化，首先是北美与欧洲，接着在20世纪60年代及70年代则遍及全球肥料密集使用的地区。[27]

在1860年，芝加哥人认为密歇根湖大到足以轻松接纳整座城市所倾倒的废弃物。时间证明他们错了。同样地，1900年黑海或黄海沿岸居民把海洋当作污水槽，多数人压根都没想过会发生类似的问题。从各方面来看，这几处海域几乎是一望无垠。时间也证明了他们是错的。今日我们利用深海容纳各种废弃物，认为不管人类倒入什么东西，海洋都大到能够安全地加以稀释。到目前为止这个理论还撑得下去。

海洋

从深海的观点而言，20世纪跟其他时期相当类似，人为影响鲜少扩及内海及海岸地区以外的领域，然而这相当重要，因为这里是咸水生物圈主要的栖息地。[28]

由于没有翻腾的浪潮，内海很容易为富养化所苦。波罗的海的情况最为严重，20世纪50年代严重到从肉眼便可看出（从味道也闻得出来）。除了来自化学污染日益严重的农场径流，波罗的海还因为来自斯德哥尔摩、赫尔辛基、列宁格勒与［通过维斯瓦河（Vistula river）］华沙的城市废弃物而养分过剩。在地中海地区，如接收了养分过高的波河（the Po）河水的亚德里亚海，在20世纪60年代藻华问题严重。西方的黑海（拜多瑙河之赐）也是如此。由于城市人口众多且率先采用化学肥料，欧洲内海最先发生问题。

但其他地区的内海与浅海很快就感受到类似效应。在1970年后，富养化首度影响了马来西亚水域。只要是人为活动造成养分过剩的地区——红海、波斯湾、黄海和日本海——沿海渔业就会受到影响。在某些案例中，海洋养分升高代表鱼类有更多食物，渔获因此增加。但只要养分负载造成几次藻华现象，鱼群数量，还有渔获，反而会下滑。[29]

重金属会流入近海，也会以降雨的形式进入海中。1880年之后波罗的海地区海底沉积物出现重金属，1940年之后的南加州海岸也有同样问题。只要是冶金与化学工业兴盛的地方，重金属就会渗入海中。欧洲、苏联与美国的海湾、河口与内海，接收的重金属剂量最高，浓度高到足以伤害海洋生物。镉与水银累积之后，有时会让甲壳类动物含有不利人类的毒性。[30]最严重的案例发生在日本西南部一个叫作水俣的渔村。

水俣湾　1910年，日本窒素公司在水俣建造了一座化学工厂，当地逐渐成为一座公司城镇（company town），1950年人口达5万。自1930年起，日本窒素工厂便开始生产需要无机汞作为催化剂的乙醛（乙醛用于合成醋酸，而醋酸常用于印刷、塑胶、相片处理等诸多用途）。日本窒素将含汞废弃物倒入水俣湾。细菌将汞转变为甲基汞，于是这种有机化合物便进入食物链上游，而且浓度更高。20世纪40年代末期当地鱼群开始不明原因大批死亡。50年代工厂加快生产脚步，倾倒的汞数量也就更多。很快地，水俣地区的猫好像发疯似的出现喝醉般的跳舞症状、呕吐然后死亡，被人称为“猫的舞蹈症”。到了1956年，水俣的儿童开始出现脑部伤害：他们罹患的就是日后称为“水俣病”的疾病。[31]鱼类面临合理质疑，很快渔民们便发现海产品卖不出去。当地名医细川一证实水俣病就是汞中毒，但这个发现却被他的上司日本窒素公司施压保密。1985年，当地渔民因为无法阻止日本窒素继续将汞排放至海中，因此对工厂发动攻击。但汞排放又持续了10年，其间有数千人出现症状，还有逾百人死亡。[32]即使早就证实日本窒素与汞、鱼及死亡案例有关，但向来偏袒日本窒素公司的市长，仍于1973年宣称“有利于日本窒素的就是有利于水俣市”。受害民众终于提出诉讼。日本窒素公司输了官司，到1977年付给水俣受害者与家属1亿日元。数十年来，没有外地人敢和出身水俣的人通婚，担心可能会生出畸型后代。1984年后日本政府耗资4亿日元在水俣湾进行疏浚以排除污染，至少政府本身对结果相当满意。1997年，当局表示水俣湾已完全无汞，并拆除20世纪70年代为防止污染水域内鱼群外流所设置的拦网。

水俣的故事可能是20世纪（过往任何一个世纪）最严重的海洋污染案例，但它还算是简单的案例，因为它只牵涉一个国家、一家工厂和单一污染物。地中海的案例规模更大，而且是典型的多国、多污染源案例。

地中海 1798年，柯勒律治在诗作《老水手之歌》中写道：

> 那深海已然腐烂：上帝啊！
> 怎么会有如此景象！
> 长了腿的黏滑物，
> 在黏滑的海面爬行。

柯勒律治在首度见到地中海的15年前写下这些诗句。当他亲眼见到那情景（当时他担任英属马耳他总督秘书达两年），地中海的状况尚佳，只有几处海港泥泞严重。但200年后，当地海域有时候因藻华而腐臭，油腻腻的海面上常见黏滑物蠕动或滑行。许多地中海国家现代工业快速增长，农业开始使用化学肥料，再加上人口与动物数量增加，造成1950年后盆地污染负担大增。多数污染最后还是排入海中。地中海是全世界最大的内海，1995年，其集水区人口约两亿，分属18个国家。[33]由于高度蒸发且来自河流的淡水不多，地中海属于咸海。直布罗陀海峡盐分较重的海水流向大西洋，上面流动的则是较轻、盐分较低的海水。要完全排出地中海域的水，平均得花上约80年的时间。因此污染物滞留的时间比北海还长（约停留两年），但还不及黑海那么久（可存留约140年）。就生态而言，地中海一度堪称既富饶又贫乏。它的物种多样性相当丰富，共有约一万种动植物。但因为当地水域常常营养度不足，整体的生物数量与生物生产力极低。这就是为什么在未经污染的地区，水质可以如此清澈。

在20世纪，地中海水域变得越来越脏且污染程度更加严重。海洋的污染自然不是什么新鲜事。古代港口奥斯提亚（Ostia，位于罗马附近）、比雷埃夫斯与亚历山大港都充斥着废弃物与垃圾。靠近人口密集地的海湾、河口与海口——金角湾、威尼斯潟湖、那不勒斯湾，早在20世纪前就很不卫生。现在直接倾倒入地中海的污染物数量，可能比一两个世纪前还少。但污染也可通过河流与空气到达海洋，而且数量更甚以往。

地中海的主要污染物，与世上其他地方的水源污染相去不远。微生物、DDT或PCBs之类的合成有机化合物、石油、垃圾与过多养分是名单上的主要项目，重金属与放射性核素（radionuclide）次之。以最普通的词汇来说，1990年地中海里源自陆地的污染当中，约有1/4污染了从瓦伦西亚到热那亚的西北海岸线，1/3则出现在亚得里亚海。20世纪初期比重可能更高。[34]不论过去或现在，最主要的污染来源都是大城市、大河以及一些海岸工业区。

因为污水处理并不普及，因此直到20世纪，来自下水道的微生物污染比重，都大致与人口成比例。到了20世纪末，约有30%流入地中海的污水经过处理，但污水总量已是1900年的3倍或4倍。[35]对于在海中游泳或食用海鲜的人来说，罹患肠胃病、伤寒或肝炎的风险也大幅增加。20世纪80年代末期欧盟制定了微生物污染限值指标，从西班牙到希腊，关

闭海滩成了家常便饭。20世纪90年代的任何一个夏天，地中海欧洲沿岸平均都有10%的海滩不符合欧盟标准，不过不一定都达到必须关闭的地步。

1900年之前石油还是个受人忽略的污染物，随着20世纪能源使用习惯转变而渐成主流。1948年后波斯湾油田崛起，再加上苏伊士运河完工，还有来自欧洲运输与工业的能源需求，让地中海成了全球运输石油的高速公路。地中海尚未经历过大型的油轮漏油事件，不过曾发生过几次中等程度的案例。在其他地区造成严重污染的海上石油钻探，在地中海的规模仍然相当小。大部分的污染来自日常作业（20世纪70年代以前并未规范），例如清扫油槽与倾倒船底污水。第二次世界大战前因为石油贸易规模不大，这些作业的排放量也少。大战期间定期货运暂停，但大量军用货物被击沉。然而石油污染到战后才开始加重，主因是欧洲对中东石油需求大幅增长。在1990年，全球约有1/4的石油货运行经地中海。1975年，一项预测估计地中海每年接收50万吨漏油，另一项1980—1981年的数字则约为82万吨，这其中通常有1/3以焦油的形式冲刷上岸，地中海的情况比地球上其他地区都要严重。剩下的漏油大多会漂浮在海面上，成为浮油，有时甚至会薄薄一层覆盖10%的海平面。1980年左右，地中海吸收了全球石油污染的1/6，其中超过半数发生在日常的装载与清洁作业过程，利比亚的水域受影响最深。[36]

工业对地中海的污染更甚于石油。趁低廉的海运成本之便，沿岸地区冒出了许多工厂。汇入海洋的河流旁也有许多工厂，除了运输上的理由，也因为工业生产需要水来冷却或清洁。即使是离水域很远的工厂，也会通过空气传递沉积物污染地中海。不论途径为何，海洋接收了大量来自工业的化合物与重金属。

20世纪末期，工业在地中海地区快速发展。1929年，地中海国家占全球工业产出约5%，1950年约3%，但1985年则约为14%。1960年后比重快速增长。在接下来的1/4个世纪，地中海国家的工业产出每年上扬约6%～7%，各国中以希腊、土耳其、西班牙与北非国家的增长速度较快，法国与意大利较慢。工业化对1950年之后地中海欧洲地区非凡的经济发展大有贡献，人民的营养、健康与平均寿命均有所提升。当然，这也带来高度的污染。

这样的污染自然集中在工业区，包括意大利、法国及西班牙。尽管北非工业快速发展，但一直到1990年前仍只占地中海工业的9%，从以色列到克罗地亚的几个国家另占10%。意大利占地中海盆地工业产出的

2/3，西班牙（多数集中于巴塞罗那）为1/10，法国（地中海水域仅有少量工业）只占1/20。[37]因此最严重的污染问题发生在地中海盆地西北部，邻近工业化盆地的河口地区，例如伊布罗河（Ebro）、罗讷河（Rhône）与波河，还有重工业中心附近，像是巴塞罗那、热那亚，以及从波河三角洲到的里雅斯特（Trieste）之间的亚得里亚海北部沿岸。各种工业将一般性污染源送入空气、河流与地中海：PCBs，还有汞、铅与砷等重金属。表4.3大略介绍了1985年地中海地区污染源的地理分布。里昂湾（Golfe du Lyon）与亚得里亚海北部沿岸的重工业集中地，污染问题最为严重，从表4.3可明显看出在这失衡状态中，当地占了绝大多数。

表4.3 地中海南部与北部的环境比较（1985年）

项目	北部	南部
人口（万）	7300	5000
城市化比率（%）	69	47
有污水处理的城市（%）	70	50
废弃物（百万立方米）	2295	544
注入的氮数量（千吨）	128	48

数据源：Grenon and Batisse 1989：245-6

注：在Grenon and Batisse的方案中，北部包括西班牙、法国、意大利、前南斯拉夫以及希腊；南部则涵盖土耳其、叙利亚、埃及、利比亚、突尼斯、阿尔及利亚与摩洛哥。

在这些主要的热点之外，近年来也有越来越多地方性的污染问题。以希腊为例，20世纪在雅典与塞萨洛尼基（Thessalonnki）附近发展出两个工业聚落。除了部分发电厂以外，两个聚落囊括了希腊所有重要的工业。迟至1990年，两个城市都尚无污水处理厂。几乎所有来自希腊冶金工业、造纸厂、造船厂、肥料厂，以及半数人口所产生污水的污染，

都集中在雅典或塞萨洛尼基附近。污染日益严重，或许也因为希腊民众对污染的容忍度下降，造就了1980年之后的补救措施。当地采用的方式是鼓励产业迁移（部分相关措施早于1965年即已存在）以及部分污染管控措施。[38]

像希腊这样的案例比比皆是。例如伊兹密尔湾（Gulf of Izmir）、伊斯肯德伦湾［Gulf of Iskenderun，旧称亚历山大勒塔（Alexandretta）］、突尼斯与的里雅斯特的海湾等许多地方，都发生了严重的污染问题。伊斯坦布尔金角湾数百年来已饱受生物污染之苦，1913年之后又面临有毒金属浓度上扬的命运。[39]只要是位于海湾或海口附近快速发展的城市或工业中心，而且没有逆时钟方向的地中海洋流，就一定会累积污染。就跟其他封闭水域一样，地中海有时会自然产生藻华（亦称赤潮）。但受城市化与未处理污水影响，再加上化学肥料使用日益普遍，这个现象到20世纪更加频繁。

地中海的富养化现象源于工业，而非农业与城市污水。影响最大的区域包括在1980年之后藻华现象最为严重的里昂湾和1978年首度出现赤潮、位于雅典附近的萨罗尼克湾（Saronic Gulf），以及亚得里亚海北部。过多的养分中有3/4来自河流。[40]

亚得里亚海北部是个流动不佳且较浅的大陆架。每年夏天水温升高，非常容易造成富养化。它接收了来自波河河谷的河水，而当地自20世纪初就有农民开始使用化学肥料。海水吸收了好几个大城市及工业中心的废水（但在这个案例中后者影响程度较低）。在1872—1988年，记录中亚得里亚海北部曾出现15次富养化藻华现象。1969年那次是首度出现大规模灾害，1988年那次则最为严重。1969年之后发生频率上扬，可能是因为养分负载增加，但也可能是因为水温更高了，或许两者皆是。[41]亚得里亚海北部与其他地区发生藻华的频率与严重程度双双上扬，让水底为之产生阴影，某种特定海草［大洋聚伞藻（Poisidonia oceanica）］生长的深度也大幅降低。这种海草的海藻床，在孕育多种地中海水生物种方面扮演了关键的角色，因此后来这些物种都饱受其苦（或尽力适应）。[42]与此同时，藻华还会破坏鱼群与海床生态，以及观光贸易。

尽管海洋污染恶化持续了百年之久，到了20世纪90年代地中海尚未变成像化粪池那样脏。土耳其南部与北非地区漫长的海岸线，还有其他地区较短的海岸，水质都依然清澈。在海岸线较直的地方，因为海浪冲刷岸边时没有海岬阻碍，或者位于外海，虽然污染程度不容忽视，但并

未造成任何差异。地中海比波罗的海、黑海或日本海都要干净。[43]这其中有三个原因：1.地中海的大小、深海与浅海水流的交流频繁，此外其洋流也有助于稀释污染负载；2.整体污染负载虽然持续增加，但与黑海等其他运气较差的水体相比仍属逊色；3.1975年后地中海国家采取行动，致力于减少海洋污染。

1975年后的地中海环境政治　就像地球上大部分地方一样，地中海的环保意识与政治主要始于20世纪70年代。在1975年之前，多数国家只有极少数人关心生态，像科西嘉人就在1973年示威，抗议意大利化工厂污染破坏了当地岛屿海岸线。[44]到了1980年，有些国家成立了绿党。一般的政治与文化环境——如果真能一言以蔽之——并不利于环保运动。然而这些现象都不是地中海国家所特有的。

比较特别的是1975年后发起的“地中海行动计划”（Mediterranean Action Plan）。在联合国环境规划署的协助下，除阿尔巴尼亚外的所有地中海沿海国家于巴塞罗那集会，同意在整个地中海盆地持续进行环境管理。这个计划持续赞助科学研究并在开发规划方面进行整合。这项计划还达成多项限制污染的协议与议定书，但执行面仍有待加强。举例来说，约有2000千米的海岸线因为执法不严或特许，在开发后遭“牺牲”。[45]但从1976年起，这项计划加上国家法规与欧盟设限，均有助于限制地中海地区的污染。地中海行动计划协助马赛、开罗、亚历山大、阿勒颇等其他几个大小不一的城市创建污水处理厂。到了20世纪80年代末期，塞萨洛尼基与雅典也开始建造污水处理厂。虽然20年后海洋污染程度比地中海行动计划开始时还严重，但如果没有这个计划，情况绝对更加严重。[46]

任何牵涉希腊与土耳其、叙利亚与以色列或其他宿敌之间的协议，都可算得上是政治上的一大成就。在这个案例中，部分得归功于一群推动泛地中海共同体观念的科学家。当国际环境政治开始讨价还价，科学智慧通常很快就被遗忘，只有一个理由让它特别有分量，就是攸关数千亿的旅游收入。由于地中海洋流的循环，没有一个国家能独力让海滩变干净。叙利亚需要以色列的合作，以色列则需要埃及合作。各国皆需要游客，但游客又是污染的一大来源，这种矛盾的关系有助于稳定，有时候甚至会改善海岸水质。

海洋　公海无法吸引游客，也没有什么人会出面捍卫。由于其稀释能力相当高，将废弃物倒入公海是相当具有吸引力的做法。1945年之后，公海被迫容纳更多的金属、化学物、漏油及放射性辐射。仅以塑料

为例，这种在1950年仍相当少见的物质，到了1992年占全球海滩垃圾比重达60%。挪威探险家兼科学家索尔·海尔达（Thor Heyerdahl）曾两度以木筏横渡大西洋。1951—1952年时他还没有发现任何人为污染。1969年，也就是18年后，他在航海的57天当中，有40天看见海上有浮油，而且在佛得角（Cape Verde）与巴巴多斯（Barbados）之间，沿路都有塑料物体漂浮。如果他再隔18年第三度出航，可能会发现浮油减少但塑料物增加。1970年后海上塑料垃圾大幅增加，因为全世界——特别是欧洲与北美——塑料用量增加却未适当处理。[47]

限制海洋污染的努力遇到两个问题：一是认为海洋大到不可能会有任何不良后果；二是海洋为各国所共有。有的国家从19世纪便限制往海中倾倒废弃物，1970年之后更为积极。1973—1983年，美国倾倒于海中的工业废弃物从600万吨减至100万吨。河口与海湾恢复部分旧有样貌，切萨皮克湾（Chesapeake Bay）即为一例。国际水域需要更多的政治投入，第一项有关在海中倾倒石油的国际协议出现在1954年。自1972年起各界加紧努力但成效不彰。[48]要求设限的国际协议，还是没有足够的诱因。海洋就像太空一样空间够大，因此即使是20世纪所有垃圾与污染，还是只在边缘地带造成影响。

结论

地球水域的生物化学变化，以污染及其缓解为主，依循着工业化与都市化的脚步，几乎对每个社会都造成影响。在这两种趋势影响最强的地区，污染也最为严重，特别是1945年新型有机化学物问世之后。污染对湖泊与河流造成的影响最为严重，对内陆海洋与海洋沿岸的影响也不小，外海则几乎没有遭到波及。在1800年之前，水污染一直是地方性的问题，只有都会地区或是制革、玻璃等特定工业附近社区才会察觉其重要性。到了19世纪，它偶尔会在英国与其他工业中心成为区域性事件，20世纪则经常发生，连伊利湖或波罗的海这样大的区域，化学作用与生态都因此改变。

20世纪有数千万人死于水源污染，堪称人类史上代价最高的污染问题。现代城市自19世纪开始提供安全用水，并延续到20世纪，而这对现代生活形态来说是相当重要的。没有它，就不会有那么多大型城市，卫生条件也会差很多。但即使这方面如此成功，人类的水文设计如此精

巧，足够的清洁水源似乎仍是下一个世纪人类进步最大的限制之一。

污染的规模，不断超越水域所能吸收废弃物的极限。千年以来最受欢迎的水源污染控制，也就是稀释，到了20世纪效力越来越差。新方法只在进行实验的地点有效，甚至连这些地方的成效也并不完美。让莱茵河水恢复到鱼群能够复育的清洁程度，相较之下比较简单：因为河流永远都有新的水流入，而且涉及的国家不多（更何况1948年后这些国家相互友好且相当富裕）。恢复地中海清洁的行动难度较高，因此尚未完全成功。整个系统内的水流要自行排出，需花费数十年而非仅仅数周；牵涉的国家也比较多，其中有些互相敌对，还有很多穷国，因此难以彼此合作。海洋因为规模较大，很难发生严重污染，不过一旦发生几乎很难收十残局。

[1]此处数据来自Shiklomanov 1990,1993，以及Postel 1992。

[2]无法取得是因为受限于今日的科技与能源价格。当然这些在未来都会改变。

[3]Rao 1989。这与乞拉朋齐附近砍伐森林与径流的加速有关。1960年之前，水源供给往往经年充沛。全球最多雨的地方为夏威夷山顶地区。

[4]我们无法确定增加的部分有多少是因为人口增长，因为不知道多出来的用水量到底用在哪里。大部分用于灌溉，但也可能用于基本的食物生产，或为满足富有消费者而生产的特殊作物。

[5]Gleick 1993：396；《经济学人》1998年11月第29页所报导的美国地质调查（U.S.Geological Survey）数据。

[6]Orhonlu 1984：78–82；Çeçen 1992；Pinon and Yerasimos 1994.

[7]请见Özis 1987。锡南提到让小亚细亚撒潘卡湖（Lake Sapanca）分流，而20世纪80年代土耳其共和国也真的据此进行建设。

[8]Changnon and Changnon 1996：104.

[9]伊利诺伊伊州能源与天然资源局1994,2：75–84,101–12；Stout and Ackermann 1987。Changnon 1994完整地介绍了芝加哥河的转变；相关参考数据我要感谢彼得·坎贝尔（Peter Campbell）。同时请见Changnon and Changnon 1996。

[10]伦敦于1829年小规模地首创过滤程序；波基普西（Poughkeepsie）是美国第一个这样做的城市（1879年）。1800年氯化作用首先于伦敦小规模实施，过了很久才全市采用。法国方面请见Goubert 1989。德国城市相关行动请见Büschenfeld 1997。

[11]Outwater 1996：133–47。请见Guayacochea de Onofrí1987，其中提到阿根廷门多萨（Mendoza）早在20世纪初便有水源与污水处理。

[12]初级污水处理包含以过滤器分离固体物质。二级处理也包括利用细菌分解不安定的有机物质，降低例如污泥活化程序中废水里的生物氧需求。之后所有程序均称为三级处理。

[13]纳米比亚温得和克（Windhoek）20世纪70年代清洁污水做得相当成功，其中1/3甚至可回收到供水系统（大英百科全书，15th ed.,1976,14：753）。有关莫斯科请见Goldman 1972：96–101。

[14]GEMS 1989：274；Headrick 1988：145–59；Smil 1984：100；Yeung 1997。有关马德拉斯请见Sundaramoorthy et al.1991。

[15]此部分乃根据Ahmed 1990、Basu 1992、Ghose and Sharma 1989以及Varady 1989。

[16]Twain 1899,2：192–3。

[17]Ghose and Sharma 1989：41–4。恒河淤泥严重程度仅次于黄河，这可能也有助于将重金属与其他污染物吸附在河底的沉积物中。Meybeck and Helmer 1989：294则没这么乐观，他们认为20世纪80年代初期约有990种产业将废弃物倒入恒河。

[18]河流污染皇家委员会的引言，引述自Clapp 1994：74–5。

[19]Sherlock 1922：295引述了1869年的国会报告；Sheail 1997：207则引述1950年报告。到了1979年，人为活动使全球河流矿物质含量，比大约1860年的水平增加12%（Meybeck 1979：241）。

[20]Ponting 1991：364所引述。

[21]Behre et al.1985.

[22]PCBs即为多氯联苯（polychlorinated biphenyl），1929年起开始作为绝缘体、润滑剂等多种应用；DDT为氯苯基三氯乙烷（dichlorodiphenyltrichloroethane），首次合成于1874年，并于1942年由瑞士一家化学公司导入商业用途（杀虫剂）。有关渔民请见Reihelt 1986。在美国，通过母乳吸收PCBs显著降低了（11岁）儿童智商达6分（Science News,14 September 1996：165引述Joseph Jacobson and Sandra Jacobson之研究）。

[23]莱茵河相关描述摘自Friedrich and Müller 1984、GEMS 1989：280、Habereer 1991、Lelek 1989、Malle 1996、Meybeck 1979、Reihelt 1986、van der Weijden and Middleburg 1989；以及Van Urk 1984。经过140年后，泰晤士河再度于1974年捕到鲑鱼（Wood 1982：118）。

[24]Nimura 1997：21.

[25]Hashimoto 1989；Miura 1975：259–86；Notehelfer 1975；Shoji and Sugai 1992；Tsuru 1989.

[26]接下来的内容乃根据Kettani 1993；引述内容来自p.663。

[27]Barica 1979；Bonomi et al.1979；NRC 1992：188–91；ReVelle and ReVelle 1992：395–7；Schröder 1979。华盛顿湖相关细节请见Edmondson 1991。

[28]Gorman 1993：106–7；九成海洋物种居住在大陆架的沿海水域，只占整个海洋空间不到1%。

[29]Elmgren 1989；Larssen et al.1985；Linden 1990：8。Ambio,1990,19（3）特别探讨了波罗的海富养化。

[30]Adler et al.1993；Alderton 1985.

[31]分析脐带后发现，怀孕妇女饮食中的甲基汞含量在20世纪30年代末期及40年代初达到高峰，之后又在50年代末到1965年攀高。日本人习惯保留脐带以治疗重大疾病（Nishigaki and Harada 1975）。

[32]到了1990年，水俣病已造成987个死亡案例，还有2239人患病，另有2903人申请正式受害者身份（Ui 1992b：131,citing the Japanese Environmental Agency）。有些受害者来自日本其他地区。

[33]1995年以地中海为边界的所有国家，总人口约4亿，地中海海岸行政区人口则约1.3亿。

[34]De Walle et al.1993a：59.

[35]Stanners and Bourdeau 1995：495.

[36]De Walle,et al.1993b：6,62–3；Le Lourd 1977；Stanners and Bourdeau 1995：118。20世纪80年代，地中海盆地约有50座炼油厂。

[37]Grenon and Batisse 1989：103–5。我对他们的数据解读不同，将意大利全数视为地中海地区而非只有一半。他们使用的测量单位为工业增加值，以美元计算。

[38]1982年在雅典或埃来弗西斯（Elefsis，雅典西北方的工业区）附近捕到的乌鱼，PCBs与DDT含量为20公里远处捕到乌鱼的15～18倍。（Vassilopoulos and Nikopoulou-Tamvakli 1993；同时请见Katsoulis and Tsangaris 1994）。

[39]Tuncer et al.1993。1985年左右的伊兹密尔湾污染数据出于Türkiye Çevre Sorunlar1 Vakf1 1991：216–20。

[40]有关萨罗尼克湾请见Vassilopoulos and Nikopoulou-Tamvakli 1993：432。

[41]Bethoux et al.1990；Marchetti and Rinaldi 1989。

[42]Stanners and Bourdeau 1995：120–1.

[43]比较判断请见Albaigues et al.1985。

[44]Molinelli-Cancellieri 1995.

[45]De Walle,et al.1993a：79.

[46]有关地中海行动计划的政治面请见Antoine 1993 and Haas 1990。

[47]Earle 1995：254–55；Gorman 1993：34,39,114.

[48]Prager 1993：87–131检讨了国际限制海洋污染的努力，Gorman 1993：69–92亦有相关讨论。

第5章 水文圈：耗竭、水坝与分流

你看大地片草不生，毫无生气，但是当我对它降下雨水时，它就颤动了，膨胀了，并且生出各种美丽的植物。

——《古兰经》第二十二章第五节

井干方知泉水贵重。

——本·富兰克林（Ben Franklin），《穷理查年鉴》（*Poor Richard’s Almanac*）

1908年丘吉尔到非洲旅行时，有一天站在维多利亚湖（Lake Victoria）北岸边。他看着这全球第二大湖，流经欧文瀑布（Owen Falls）汇入全球最长的尼罗河。后来他记录下当时对此壮丽景色的观感：“这么巨大的力量都给浪费了……这股操控着非洲自然力量的杠杆完全不受限制，让人不禁烦恼并心生想象。如果能在那古老尼罗河的源头装上涡轮，将是多么有趣。”[1]

这样的想法争论不休了一段时间，中途杀出两次世界大战及经济大萧条，但经过适当的研究与规划后，终于在1946年开始建造欧文瀑布水坝。1954年丘吉尔二度担任英国首相，尼罗河的河水终于开始带动涡轮。维多利亚湖成了水库，乌干达与肯尼亚西部也因此获得15万千瓦的发电量。

丘吉尔的观点反映出20世纪对水源的主流看法。他把水视为一种资源，看到资源未加善用，让他相当苦恼。他认为开发资源会让人类的未来更加美好，在这个案例中则是有利于乌干达与大英帝国。改造自然当然是件有趣的事，特别是对丘吉尔这样有童心的人。吉卜林那一代的英国帝国主义信徒，往往对自身行止的正当性深具信心。水文圈发生变化，就是因为有很多人跟丘吉尔想法一致。列宁、小罗斯福、尼赫鲁、邓小平，还有很多知名度较低的人物，对水的看法如出一辙，在苏联、美国、印度与中国鼓吹大规模的水利工程。之所以如此，是因为他们生在一个国家与社会都认为可通过调整自然水文来提升国力与繁荣的时

代。而且，他们也拥有前所未见的技术来实现这些计划。自1850年起，水利工程师与雇用他们的官员重新配置了地球水源的管线。他们这样做，是为了因应经济发展过程中的需求，但也是为了公共卫生、地缘政治、分赃政治、象征政治（symbolic politics），毫无疑问更是为了满足他们自己的虚荣与玩心。要在对的时间、地点供应适量的水任人随意取用，就需要水利工程这种人类最古老的科学之一。20世纪人类使用各种古老与现代方法，建造了数百万座水坝、管井、运河、沟渠与管道，来改变地心引力原本所决定的水源终点。本章将解释1900年之后人类对水文圈造成何种实质改变：我们如何大幅改变了全球淡水水域的路线与节奏，以满足人类各种需求。

地下水

20世纪对许多人来说最为重要也最令人感到不安的水文圈变化，就是地下水的大量使用。人类为灌溉与饮用而凿井已有上千年历史，为此付出大量心力与智慧。古代中国凿井最深可达500米。但最后，人类肌力与自然风力还是对地下水探勘空间造成限制。[2]

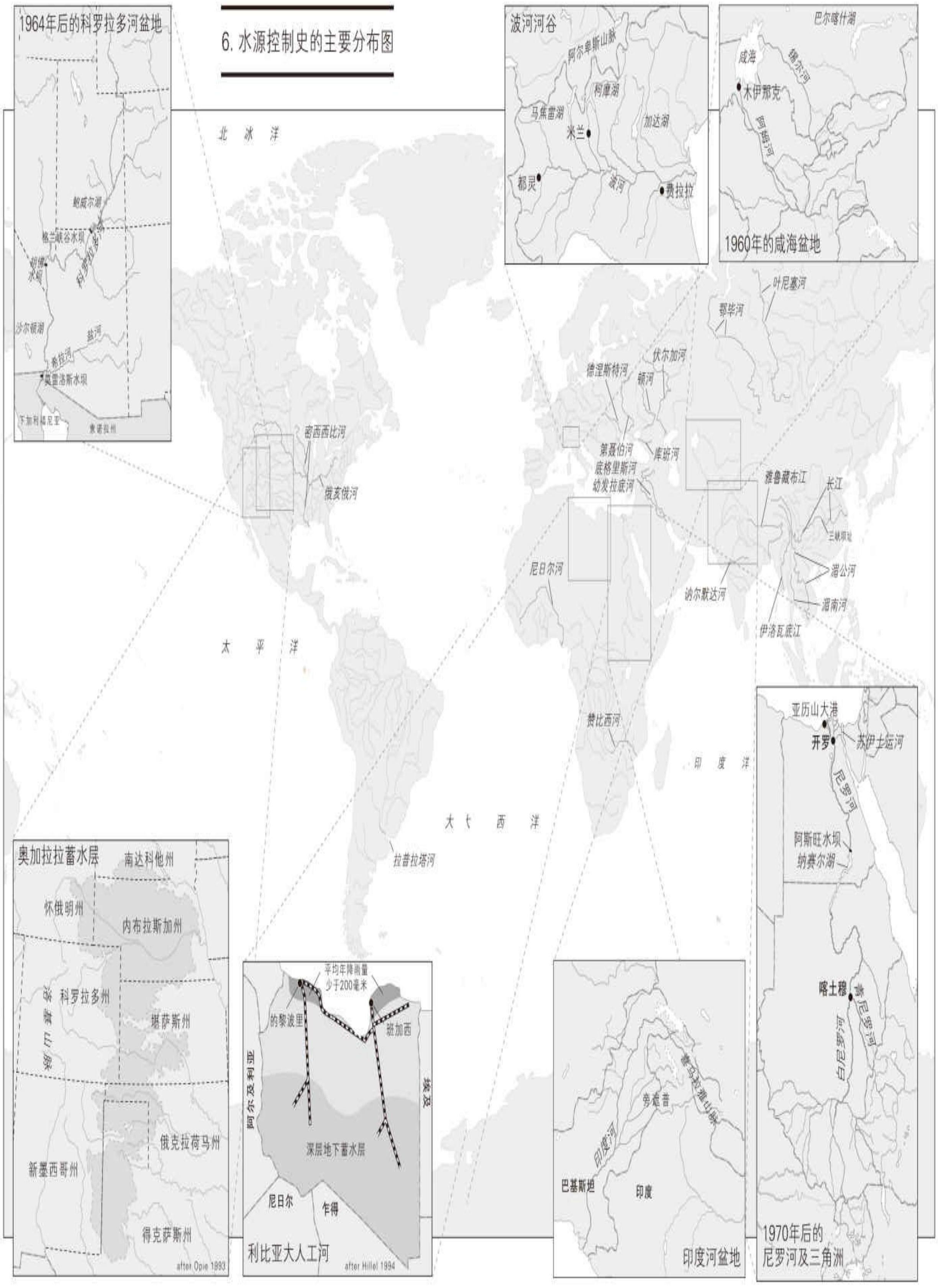
20世纪特有的廉价能源，使大量汲取地下水变得可行。虽然几乎每个地方的地下水量均相当丰富（地表深处），但只有在地表水量不足且能源价格低廉时，才会将大量地下水抽至地表。中东与美国西部就是最好的例子。

在美国的高原区，多数时间缺乏足够雨量来种植美国农民与市场偏好的作物。自19世纪末以来，从得克萨斯州到蒙大拿的农民便靠风力抽水机取水。但就算是最好的高原水车，取水深度也无法超过10米，灌溉面积则不超过3公顷左右的小麦田。随着石油工业钻井技术提升，加上便宜的汽油与天然气，到20世纪30年代中期农民不必大量投资便可取得地下水。他们开始抽取奥加拉拉蓄水层（Ogallala Aquifer，奥加拉拉意为“高原”）[3]。这个水体的水量相当于休伦湖，从得克萨斯州西北角狭长地带（Texas Panhandle）一直延伸到南达科他州。奥加拉拉其实是一条流速极慢的地下河流，每天只流数厘米，通过一处深度不及100米的碎石河床后流向东南方。奥加拉拉蓄水层的历史已长达1万～2.5万年。

20世纪30年代的严重干旱加剧了高原地区的缺水问题，战后经济景

气使之愈发严重。新近发现的奥加拉拉水源，似乎是所有沙尘暴事件受灾农民衷心期盼的解答，就是相当于所需雨量的稳定水源。1945年后地下水使用量大增，受20世纪50年代与70年代干旱影响，1950年到1980年用量增长4倍。到了20世纪70年代末，奥加拉拉供水占美国灌溉农田用水的1/5。美国所生产的小麦、玉米、苜蓿草，甚至棉花，大部分都必须仰赖它。还有将近40%的牛饮用奥加拉拉水源，所吃的谷类也用那里的水来灌溉。20世纪70年代末，农民以每年略低于1%的速度汲取当地地下水，取水速度是蓄水层最高补充水量速度的10倍。许多人因此发了大财。使用奥加拉拉水量可能高于任何人的农场主人兼农民克拉布伦斯·吉戈特（Clarence Gigot），竟然靠着堪萨斯州西南部干旱的沙丘群成为百万富翁。他利用中心支轴式（center-pivot）灌溉法，在没人要的土地上种植谷类并饲养牛群，并且从中获取利润。

6. 水源控制史的主要分布图



但丰沛水源总有用尽之时。在最早开始探勘地下水的美国高原南部，农民很快就被迫越凿越深以取得地下水，许多人发现这样的成本并不划算。1974年后得州北部灌溉比例下滑，整体高原区也在1983年后逐渐式微。虽然农民是否采用灌溉取决于诸多因素，例如能源成本与作物价格，但奥加拉拉水位降低扮演了更重要的角色。自20世纪70年代末起，各州之间针对限制抽取奥加拉拉水量达成协议，取水量因而趋稳。但数字仍未下降。在农作物生长季，整个高原地区有15万台水泵日夜运作。1970年时，堪萨斯州萨布雷（Sublette）的农民认为当地地下水大约还可用上300年。1980年他们估计只剩下70年的供给量，1990年已不到30年。到了1993年，可用地下水已有半数用罄，水文学家与农民都认为好景只能再维持个20～30年，如果节约成功还可撑更久，若遇干旱就会更快用光。奥加拉拉经过数千年累积的水源，还能造福人类的时间确定不会超过一个世纪。[4]

阿拉伯半岛与利比亚也兼具大量地下水与廉价能源的双重条件。20世纪70年代在石油市场赚取数十亿美元后，沙特阿拉伯人将部分获利投资在蓄水层探勘计划，所使用的淡水中有70%～90%为地下水。虽然每生产一吨小麦需要1000吨的水（假设没有浪费任何一滴水），1975年后沙特阿拉伯的政策却是要在沙漠中种植小麦，价格是国际市场的5倍之多，理由是为达成粮食自给自足。1984年后，沙特阿拉伯定期出口小麦。阿拉伯地区的蓄水层几乎无法补充水源，因此也无法持久。沙特阿拉伯人希望海水淡化能成为可行的替代做法，让阿拉伯摆脱长久以来的水源供应限制。[5]

利比亚控制水源的计划规模相当壮观。利比亚人口不多但幅员广阔。该国南部位于撒哈拉沙漠中心位置，地下有大量的化石水（fossil water）。20世纪20年代利比亚还是意大利殖民地时，墨索里尼希望仿效英国在伊拉克的成功案例，因此在利比亚开挖石油。大失所望的意大利石油工程师只找到了蓄水层。1951年利比亚独立后，美国石油业者发现了更多的蓄水层。但这些蓄水层都在远离人口密集处：骑骆驼穿越不断移位的沙丘，得花上40天才能到达。因此这些地下水得以原封不动。但1969年革命后卡扎菲（Muammar el-Qaddafi）决心让利比亚的食物与纤维供给自给自足，情势因此有了变化。他说服美国亿万富翁也就是西方石油公司（Occidental Petroleum）老板阿尔曼德·哈默（Armand Hammer）协助兴建管线，将撒哈拉地下水运至利比亚海岸地区。[6]利比亚石油营收中有一大部分（约250亿美元）投入了“大人工河”（Great

Man-Made River）。这项工程在沙漠下方埋设两条主要管线，输送水量约相当于尼罗河水流的5%。的黎波里与班加西（Benghazi）附近海岸地区终于能够种植作物，规模是1986年这条河流开流前所不可能达到的。这些水的成本相当于生产出作物价值的4～10倍，以传统方式计算，利比亚绝对吃大亏。1980年初油价崩跌后，利比亚开始无力支付费用。但韩国与美国的营造公司赞成这项计划，卡扎菲也发现以此巩固群众支持相当有效。这才是最值得的回报，解释了何以利比亚要不顾经济效益，甚至因此与埃及和乍得发生争端（两国抗议大人工河可能窃取了它们的水源），依然坚持进行这项计划。[7]

墨西哥、欧洲、印度、中国等地也相继出现规模较小的地下水开发计划。只要水源供应不断，地下水灌溉便能提高农业产出。而且地下水相对较为纯净，对都会供水系统也相当具有吸引力。但这样的水源免不了会用罄，只是迟早罢了，之后一定会出现难以适应的问题。在印度最大邦北方邦（Uttar Pradesh），1970—1985年政府为2700个村落凿井，让居民生活大为便利，直到后来地下水位下降，高达2300口井干涸。尽管投入大笔资金建造供水基础建设，1985年印度多数地区仍比1970年更难以取得饮用水。1990年前欧洲大城市的地下水供给量大多下滑，蓄水层的开发濒临极限，其中又以希腊与西班牙最严重。[8]

全球有许多城市仰赖地下水解决用水需求，但结果各不相同。北京、墨西哥市等地因都会区快速发展造成当地蓄水层枯竭，迫使当局到更远的地方寻求外来水源。20世纪末，两座城市都因为地下水用罄而下陷，曼谷、休斯敦等其他城市亦然。1920—1965年，东京也因为地下水枯竭而下陷了5米，不过1961年后政府开始管控地下水抽取，情势才稳定下来。巴塞罗那虽未下陷，略夫雷加特河（Llobregat River）三角洲地下的淡水蓄水层也在1965年后开始枯竭，海水因而渗透。像是伯明翰、利物浦以及巴黎等欧洲古老工业城市，有些在1970年后便因工业式微而减少地下水抽取。减少抽取地下水也会有问题：隧道、地下室与其他地下建筑在建造时，工业用水处于低水位，现在地下水位升高，淹水的状况因此更为频繁。[9]

20世纪的新科技与廉价能源，让人类能够大规模勘探蓄水层。这使得沙漠也能开花，城市因此快速发展，成就了许多国家的经济繁荣。但这只是水源缺乏的短期治标方法，正如上述得州北方的案例所示，这种对策往往难以持久。在某些案例中，幸运的还能作为廉价海水淡化前的过渡解决方案。除非汲水率低于回补速度，否则以蓄水层解决缺水的做

法势必只是过渡期。

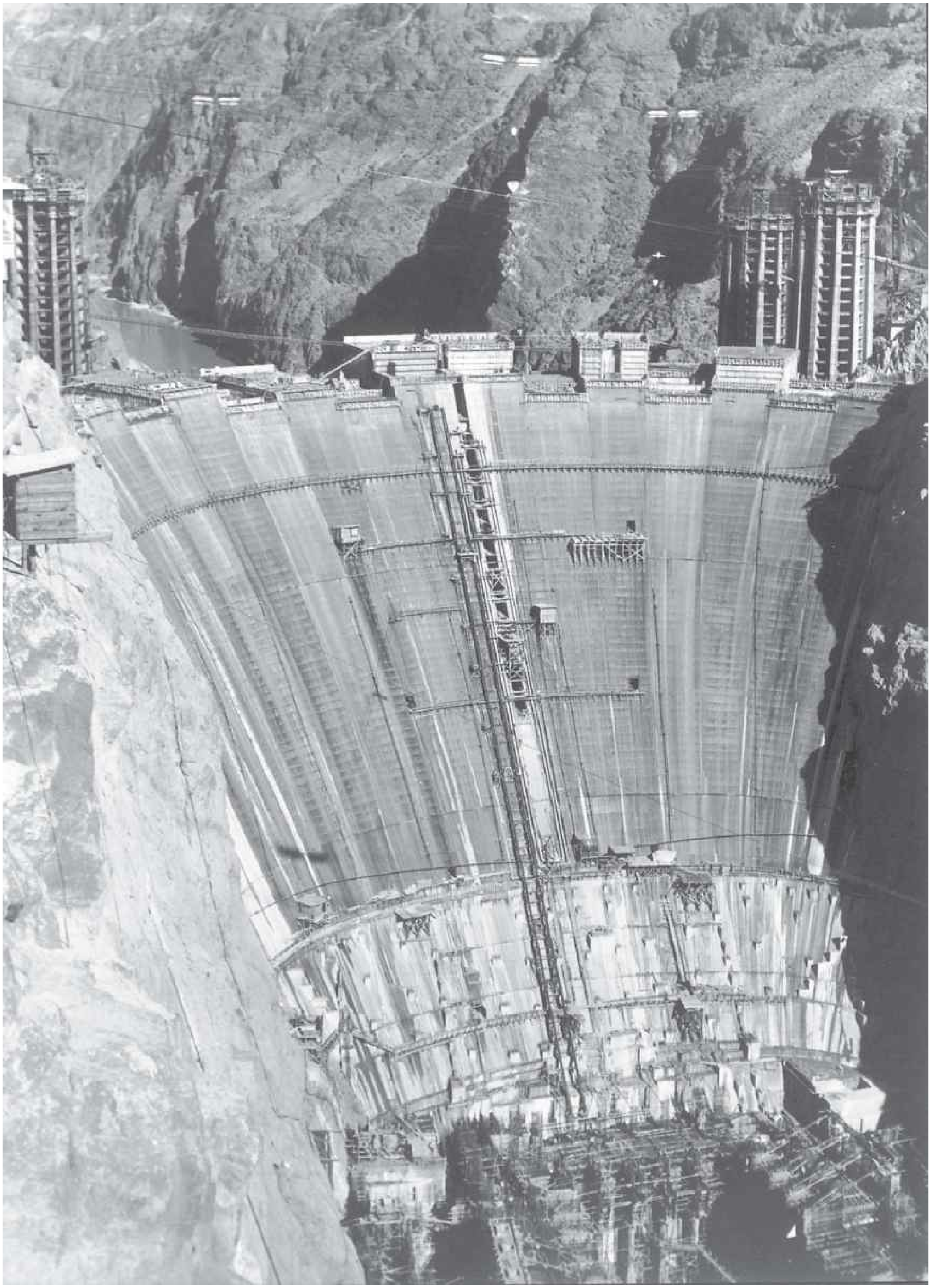
水坝与分流

水坝与分流这两种古老的技术，对水文圈带来了更大的改变。目前留有遗迹或纪录上最早的水坝，出现在4900年前古埃及在孟菲斯附近进行的尼罗河分流。中国在汉朝初期（公元前2世纪）建造了土质水坝，最高可达30米。斯里兰卡与美索不达米亚是水坝技术最早的发源地。土与岩石做的水坝有其限制，所以千年以来水坝建筑的作用因此受限。[10]1850年后，土木工程、水力学与流体力学等应用科学为建造大型水坝开辟了一条道路，首先起源于欧洲，接着在19、20世纪之交传到美国。像意大利与殖民时期的印度等国，建起中型水坝的网络。埃及等其他国家兴建的水坝规模则相当雄伟。美国、苏联以及脱离殖民的印度等其他国家则两者兼具。工程与政治上的考虑影响了这些国家的选择。所有建造水坝的人，都希望能改变景观、水文、经济与社会，尽管并非每次都能如愿。

19世纪大部分的水坝建设，跟过去一样均以灌溉为目标，次要目的包括防洪及蓄水。到了19、20世纪之交，建造水坝同时也是为了发电。水坝通常只有一个主要目的，直到20世纪30年代美国率先开发合流盆地管理与多用途水坝。田纳西河流域管理局这个全球首创的案例，引起苏联（伏尔加格勒河）、印度等地竞相模仿。20世纪30年代兴建时堪称全球最大的科罗拉多河巨石水坝［Boulder Dam，后改名为胡佛水坝（Hoover Dam）］，也在全球各地引发仿效热潮。

只要是大型水坝兴建计划，背后都有更大的政治目的。水坝对共产主义者、民主主义者、殖民主义者、反殖民者都具有某种吸引力。政府喜欢水坝所带来的活力、决断形象，显示国家能为社稷福祉而征服河流。水坝还有助于提升执政的合法性与领袖支持度，像美国经济大萧条时期就很需要，也是斯大林、尼赫鲁、纳赛尔（Gamal Abdel Nasser，1956—1970年担任埃及总统）、恩克鲁玛（Nkrumah，1960—1966年担任加纳总统）等其他领袖所追求的。水坝工程有巨大的宣传效果，特别是在1930—1970年。野心勃勃且正迈向现代化的国家，特别是那些正当性令人质疑的殖民地国家与新近独立国家，都非常喜欢兴建水坝。冷战时期的强权亦是如此，急于借此展现自身社会与政治制度的优点。水坝

的政治效益，解释了何以存在这么多不符合经济原则、在生态方面也令人质疑的水坝。[11]



图为科罗拉多河巨石水坝（后更名为胡佛水坝）1934年兴建中的情景。该水坝为全世界第一座巨型多用途水坝，并且改造了美国西南部，使其能够满足美国大萧条时期的需求与梦想。它提供了电力、灌溉用水且具有防洪作用，将一条难以控制的河流变成风平浪静的水库。自20世纪30年代起大型水坝在全球广受欢迎，这股风潮一直持续至1980年

20世纪60年代，平均每天有超过一座的大型水坝（指15米以上）完工。这股风潮的历史高峰出现在1968年。虽然已有下滑趋势，但水坝兴建的风潮依旧，到20世纪90年代全球河流约有2/3越过或穿过某种型式的水坝。[12]

印度河与印度　20世纪第一个大型的水利计划，牵涉到全球最大河流之一印度河、当时全球最大的殖民帝国英国，还有英国最重要的殖民地印度。印度河及其主要支流萨特里河（Sutlej）源于喜马拉雅山脉之西，流经现为巴基斯坦东部与印度西北部的不毛之地，最后流入阿拉伯海。这个区域称为旁遮普（Punjab），或“五河之地”。印度河长约3000千米，流量为尼罗河的两倍。4500年来人类利用印度河河水来灌溉。目前全球最大的灌溉计划，就位于巴基斯坦境内的印度河盆地。[13]

这项现代灌溉计划始于1885年，当时英属印度政府计划在旁遮普西部重建并扩大莫卧儿时代（16—18世纪）的水利工程。[14]英国人的确完成了这项工程，而且做得比计划中还多。通过工程技术与努力不懈，将旁遮普的大草原与沙漠变成麦田，创造出以灌溉运河网络为基础的农业屯垦区，称为“运河殖民地”（canal colonies）。到了1947年，这项计划推行已遍及1400万公顷（面积相当于希腊或美国亚拉巴马州），写下英属印度史上最大规模的农业扩张。旁遮普人从四面八方移居到这些新殖民地，取代了过去在这片土地上放牧牛与骆驼、让英国当局苦恼几乎从不交税的牧民。因此，社会转型在此搭上生态转型。英国人认为这是一大成就，因为他们在亚洲创造出一批更为富足的农民，每年能在旁遮普砂质沃土上收获两次。到了1915年，转型后的旁遮普对英国王室的税收贡献，比印度任何一个地区都要多，而且还创造出一批忠心子民。旁遮普人甚至竞相自愿服役投入第一次世界大战，因为退伍后可得到灌溉农田作为回报。英属印度军队在旁遮普大受支持。

英国这项水利计划，在英属印度统治结束后许久，仍影响着旁遮普的生活与土地。印度河的灌溉让印度国大党及日后巴基斯坦境内类似组织无法成功，因为直到1947年独立前夕，运河殖民地的居民仍然效忠英国。这种政治效应对独立的巴基斯坦没有好处。独立后军方领袖与地主继承了权势，部分原因便是拜运河殖民地之赐，而自此之后他们掌控了

整个国家，成功地抗拒土地改革并个人化政治。1947年后巴基斯坦扩张灌溉网络，鼓励出口油籽以及棉花等作物。1990年，巴基斯坦灌溉面积约1600万公顷（相当于突尼斯或美国佐治亚州），人均灌溉面积几为全球第一。[15]尽管双方冲突与争端不断，旧有的精英阶级仍克服了挑战他们权力的各种势力。

印度河灌溉系统也在国际上与环境上引发回响。巴基斯坦与印度的旁遮普地区均因灌溉受惠，因此珍贵的水源便足以引起两国摩擦。1960年的一项条约平息了双方的紧张情绪。但这并无法阻止所有灌溉计划常见的命运——盐化现象。即使在大规模灌溉让情况恶化之前，至少从19世纪60年代起，盐化现象便影响着旁遮普的小麦收成。到了20世纪60年代问题日益严重，洪水使得土壤持续泡在水中，地下水位也因此升高，水中盐分进而进入作物根部，抑制植物生长。所幸对旁遮普农民来说，冷战期间的巴基斯坦是美国一大盟友，肯尼迪政府因此派遣技术团队来解决问题。他们建议抽水以降低地下水位，借此保护作物根部不受盐分侵袭。海外援助款也及时用来兴建了数千座管井。[16]但旁遮普地区仍有80%的沟渠殖民地无法摆脱日益高涨的地下水与盐化现象，直到20世纪90年代国外援助排水计划资金用罄，让旁遮普农民孤立无援，农田的盐化现象也越来越严重。[17]

独立后的印度也参与了20世纪的灌溉风潮。自19世纪20年代起，英国人在恒河盆地开始大型灌溉工程，再度重建莫卧儿时代的系统。到了1947年，印度灌溉面积达到2200万公顷，1974年为3200万公顷，到了90年代则为4500万～5000万公顷，面积相当于美国加州或西班牙。印度灌溉面积占全球总量约1/5，与中国并列为全球最大灌溉农地的国家。印度也开始发展它在水利方面的潜力，特别是在1975年后。印度首任总理尼赫鲁称水坝为“现代印度的神庙”。根据某项统计，1947—1982年水坝工程占国家规划支出的15%。[18]灌溉用水坝与水力发电，是“独立后开发计划最重要的部分”。[19]

在20世纪下半叶，水坝兴建计划提升了印度的粮食产量及工业。[20]但这“现代印度的神庙”，让社会与环境付出了极大代价。1947—1992年，水坝与水库迫使大约2000万名印度人迁居。其中一例是20世纪60年代北方省的汉德河（Rihand）计划，被驱逐的农民事先毫不知情，只能仓皇逃命看着水位上升淹没家园。[21]印度的部落人口多半居住在适合发展水利的山坡地区，但他们缺乏政治实力来抵抗水坝兴建计划，因此经常沦为难民。

1947年后，印度的灌溉或水利计划几乎都无法在预算内或预定时间内完成，且鲜少能够实现先前在供电、灌溉或耐用性方面的承诺。水库出现裂缝的时间比规划中快了2～4倍。浸水的土地与盐化作用也在印度肆虐，造成1955—1985年1300万公顷土地弃耕，面积超过印度（1996年）灌溉面积的1/4。[22]许多水库大坝引发了疟疾。有些则消灭了喜马拉雅山山麓或西高止山脉（Western Ghats）的森林。[23]

这些问题出现后，印度的水坝计划引爆了政治异议。第一次大型的农民抗争发生在20世纪20年代初期，其后陆续发生，有些成功地阻止了水坝开发计划，有些则未能奏效。但在20世纪80年代与90年代，人民反抗建筑水坝的行动阻止了一些大型计划。1989年，6万民众游行反对纳尔默达河（Narmada）灌溉计划。这个超大型计划包括30个大型水坝及超过3000个小型水坝。纳尔默达河汇入孟买北方约350千米处苏拉特（Surat）附近海域，沿岸多处圣地均可能因为这项计划而遭灭顶之灾。尽管世界银行退出纳尔默达河计划，印度还是执意要推行灌溉与高知名度的工程计划。纳尔默达河计划至少让10万人被迫迁居。[24]

苏联与咸海　印度河的灌溉计划规模可能是全球最大，该国其他类似工程则最具争议，但最具戏剧性的却是中亚灌溉工程。为了种植棉花，苏联制造了20世纪最严重的一次灌溉灾难。就像印度水坝在建造时遭遇困难，咸海的案例则代表了傲慢的政治与科学精英，以人民之名所专横推行的水源管理计划。咸海的灭亡，是苏联长久而又变化多端的水源管理史上堪称高潮的一页。

沙俄时期相当专制但不注重水利。中亚古老的灌溉系统不是逐渐老旧，就是在19世纪被俄国征服时遭到蓄意破坏。[25]1917年布尔什维克接管这个灌溉与水源管理并不发达的国家，只有一些大城市供应自来水。列宁早期（1918年）颁布的法令之一，就是鼓励在土库曼（Turkmenistan）进行灌溉，但直到20世纪30年代苏维埃的政策完全没有改变当地水文圈。

斯大林及其继任者相信，苏维埃的工程技术能依据快速工业化国家的经济与政治需求，量身定制出适合的水文圈，力图在遭敌人消灭前创建起共产主义制度。在这样的气氛下根本没有折中的空间，所有计划都必须规模惊人、具有宏大的目标，连工程期限都野心勃勃。如此一来自然得抄近路。从斯大林的观点来看，20世纪30年代初期后苏联拥有数百万名免费劳工，也就是劳改营里的政治犯，这让推动大型工程的想法愈发诱人。

新时代随着水力发电装置问世而揭开序幕，1937年的伏尔加格勒河工程便为第一项大型水利建设。其后伏尔加格勒河沿岸出现了更多水坝与灌溉计划，因此冒出一连串大型水库，并在第聂伯河、顿河、德涅斯特河上进行水利建设。到了50年代，分流造成苏联西南部所有大型河流流量减少。由于顿河与乌拉尔河（Ural）缩减，工程师便通过运河，引入伏尔加格勒河水以拉高水位。这造成流入咸海的水量减少，而咸海原本即已因为伏尔加格勒河消耗的水量而减缩。[26]利用顿河与库班河（Kuban）灌溉则剥夺了流入亚速海（Sea of Azov）的淡水，造成盐度升高，一度数量惊人的鲟鱼、鳊鱼与河鲈渔场也遭到破坏。[27]到了1975年，苏联用水量为1913年的8倍，其中多数为灌溉所用。[28]要将苏联的经济潜力发挥到极致必须有水，于是河流只好屈服在国家与其规划者的意志之下。

20世纪50年代在技术能力、意识形态狂热、政治野心等诸多因素结合之下，苏联官员与工程师深信自己能够处理锡尔河（Syr Dar’ya）与阿姆河（Amu Dar’ya）这两条中亚大河。这两条河携带高山溶雪，汇入咸海这当时仍为全球第四大湖泊的封闭盆地。几千年以来，这两条河供应了中亚国家所需的水源。由于20世纪初灌溉面积缓步扩大，这两条河丧失的水量略为提高。但到了50年代，苏维埃的规划者心中有了更远大的计划，也就是设立一条具有灌溉网络的棉花种植地带，好让苏联“在棉花供应方面独立自足”。咸海的灭亡是一种计划性的暗杀。土库曼科学院院长巴巴耶夫（A.Babayev）曾于50年代末期道出当时相当普遍的看法：

> 我是认为让咸海干涸比保存更有利的科学家。首先，我们可取得这块地区的肥沃土地……光是耕作（棉花），就比现有咸海的渔业、船运等其他工业更具价值；其次，咸海消失也不会改变这个地区的景观。[29]

中亚地区的灌溉面积扩大至700万公顷，相当于爱尔兰的大小，而苏联不只在棉花供应方面独立，也成为全球第二大“白色黄金”的出口国。这是全世界质量最差的棉花之一，只销售给东欧苏联境内别无选择的客户。

这项棉花投资却扼杀了咸海。1960年前咸海平均流入水量为每年55立方千米，流量相当于波河（意大利）、尼日尔尔河（Niger）或美国

斯内克河（Snake），但在1960—1961年大幅下滑，之后每年持续缩减。到了1980年，咸海流入水量只有原来的1/5，到1990年最多只剩1/10，有时甚至完全没有水流汇入。咸海水位开始下降，20世纪60年代速度仍较慢，但约在1973年后加快。到了90年代中期，咸海水位比20世纪60年代之前下降超过15米，覆盖的海底不到原来的一半。1990年北方出现一道大地峡，咸海因此被一分为二，总水量只剩1960年的1/3。1960—1993年，咸海的盐度增加了3倍。[30]

俄国人过去称咸海为“蓝海”。中亚土耳其语系中“Aral Dengiz”意指“岛屿之海”。确实有越来越多的岛屿出现，但很快咸海似乎不再湛蓝，也不再与世隔绝。这里将成为一个面积相当于爱尔兰的盐田，其间点缀着几座咸水池塘。这势必成为水文圈有史以来最大的人为改变。与此同时，中亚也在20世纪80年代出现了一些大范围后果。尽管巴巴耶夫博士那样说，整个咸海地区还是受到影响。咸海调节当地气候的能力跟海的规模一样缩水了。夏季热浪与冬季寒流变得更为极端，棉花种植带的生长季节也缩短了大约两周。由于咸海蒸发量减少，空气变得更为干燥，贡献锡尔河与阿姆河水量的积雪也减少了。吹过海床的风中湿气含量降低，盐分却增加了，因为海水退去后留下含盐的地壳。咸海过去从集水区的河流获取盐分，到20世纪80年代末局面却有所改变，变成海床通过空气将盐分散播至棉花种植带。空气中的盐分会降低作物收成、损害草地、腐蚀电线与水泥结构，并引发眼部疾病。在哈萨克斯坦斯坦，距离咸海200千米远的草地上也开始复上一层盐。[31]

20世纪50年代咸海每年渔获量约4万吨，但到1990年鱼群消失了。木伊那克（Muynak）的罐头工厂一直撑到90年代初期，从波罗的海空运冷冻鱼货作为原料，再从大西洋这端横跨西伯利亚铁路，称得上是现代最不经济的做法之一。24种地方特有鱼种中有20种绝种了。数万个工作机会也没了。1995年，木伊那克的人口从4万人下滑至1.2万人。1970—1990年，河流三角洲地下水位降低了5～10米，地下水盐度也越来越高。冲积而成的森林、湿地与草地也都是如此，长满了能抵抗盐分的植物。本地的纤维与纸箱业者必须从西伯利亚进口原料。到了1990年，1960年还存在的哺乳类已消失近半，外加3/4的鸟类物种。

除了咸海干燥化带来的影响，棉花种植带也尝到大型灌溉计划与单一栽培的苦果。分流的河水当中，约有一半蒸发或渗入土中，对人类完全没有益处。在土库曼，喀拉昆运河（Karakum Canal，为一长1100千米的人工河）渗透严重甚至足以淹没首都阿什哈巴德（Ashkhabad）。

1970年后，工程人员钻了许多井来抽取城市中不断升高的地下水。盐化作用损害了农田，影响了乌兹别克半数及土库曼4/5的棉花田。棉花虫害越来越严重，农民只好对作物大量喷洒农药，进而污染了饮用水。苏联中亚地区因灌溉对人类健康所带来的影响，到了20世纪80年代日益恶化。因为母乳中杀虫剂残余量达到危险水平，哈萨克斯坦斯坦官员甚至劝阻人民母乳喂养。

这项中亚管道工程的惊人野心，跟1986年苏联搁置的多项计划相比可说黯然失色。之前数十年间，有远见的科学家与官僚便希望从俄罗斯北方湖泊引水至伏尔加格勒河，以解决咸海水位下降的问题。计划越做越大，他们甚至希望改变鄂毕河、叶尼塞河等西伯利亚大河原本往北的流向，好提供给中亚地区更多灌溉用水。前一项工程在1984年启动，但后来戈尔巴乔夫因成本太高而却步，1986年两项计划双双告吹。1991年苏联解体后，这样的计划更加不可能实现，因为乌兹别克的棉花出口收益已经与俄罗斯无关。许多中亚人仍视西伯利亚水源为救星，因而对此感到十分惋惜。[32]

埃及、阿斯旺与尼罗河　正如“历史之父”希罗多德所说，埃及是一个“天赐的国土，尼罗河的礼物”。过去一万年来，这个礼物——主要来自埃塞俄比亚的水与淤泥，造就了适合人居的狭长型埃及沙漠，并逐渐在大陆架上创建起尼罗河三角洲。在20世纪，埃及人却因为想要改善这上天恩赐的其中一半，而放弃了另外一半。

埃及在历史上的傲人成就，源于其独特的地理位置。过去尼罗河就像一条双向高速公路，因为多数季节吹东北风时可让船只逆流而上，而河流本身的水流则顺流向下。更重要的是，这里每年都会因为埃塞俄比亚高原雨季的降雨而爆发洪水。夏末的洪水带来湿气，并每年为河岸、泛滥平原与三角洲带来平均约一厘米厚的肥沃淤泥，因此可以栽种大麦、小麦等冬季作物。5000年前埃及人开始以灌溉渠道改良这份上天的恩赐，后来又开始使用机械装置（桔槔[33]与水车）。洪水让埃及免于盐化作用这种灌溉机制普遍拥有的缺陷。

然而，这份恩赐是有附带条件的。如果埃塞俄比亚的雨季降雨不多，尼罗河水位并未上涨——造成“尼罗河低水位”——农作物便无法生长，进而造成饥荒。如果雨量特别多，尼罗河水位上涨过高，则会淹没沿岸屯垦区。现代埃及的统治者改造了这个国家的农业与经济，而他们所使用的方法，却使这些古老的附带条件令人难以忍受。因此，他们也同时改变了尼罗河。现代最早的灌溉工程，始于奥斯曼帝国一名阿尔巴

尼亚军官所创建的穆罕默德·阿里王朝（约1769—1849年）。身为1805年之后的埃及帕夏（pasha，最高领袖），他打算脱离奥斯曼的掌控，壮大国家以免遭到英国或法国占领，并为自己与追随者带来好处。为了达到这些目的，他提议在尼罗河下游（也就是北边），利用吉萨金字塔的石头来兴建灌溉用的拦水坝，或是低矮的土质水坝。后来他被迫放弃了这个计划，但1842年起改以较不珍贵的石头兴建拦水坝。1861年这项工程在穆罕默德·阿里死后完工，让尼罗河能根据棉花栽种的需求来调整水流。棉花是一种夏季作物，在8月或9月收获。过去埃及农业以大麦与小麦为主，夏末出现的洪水虽可能危及生命与财产，却不会破坏春季收成。只有在尼罗河低水位限制栽种时期，才会为埃及带来饥荒。但19世纪这里改以棉花栽种为主，玉米这种夏季粮食作物也越来越重要。洪水高涨可能会在夏季收成前毁掉棉花与玉米作物，一口气毁掉全国粮食供给中的一大部分，还有几乎全数的出口，这不利于饥饿的农民，棉花大王的收入也可能全部消失，国家税收将因此枯竭。随着新作物与新形态经济的出现，大规模水患的代价更甚以往。更糟糕的是，每年有几个月三角洲地势较低的地区会出现一般性水患，现在也成了阻碍国家棉花生产的限制。

穆罕默德·阿里希望以棉花作为摇钱树，取得埃及快速现代化所需的资金。1855—1882年埃及棉花产量增长6倍，但这项计划还是失败了。1876年埃及无法偿付债务，让其他国家有了干预的借口（甚至可能是真正的动机）。

1882年英国开始占领埃及。1883—1907年担任埃及总领事的克罗姆勋爵（Lord Cromer），说服伦敦当局此次绝非短暂占领，因此英国便从穆罕默德·阿里后代暂停的地方开始。英国要驯服尼罗河来保护埃及。1898年英国拿下苏丹，一部分便是出于对埃及水源供应的焦虑。在克罗姆家族银行巴林（Baring Brothers）的协助下，一座较低的阿斯旺水坝在1902年完工。1912年与1934年又增高水坝，这有助于在干旱月份储存用水，但储存的水还是不足以度过长期干旱。这座水坝也无法控制大规模洪水。特别是在1934年后，水坝只能拦截住每年水患的末端，大约是整体水量的1/5。[34]

水坝越大，功能就越多。早在1876年，一名英国军官便向埃及总督（khedive，穆罕默德·阿里的继任者）提议兴建更大型的水坝。这个提议并未纳入官方计划，后来则由希腊裔埃及工程师阿德里安·达尼诺（Adrian Danino）再度提出，希望借此带动埃及电气化。1912年达尼诺

提议在阿斯旺建造一座高坝，不过未能引起高层注意。20世纪40年代末期他再度尝试，但当时英国水利专家已决定扣押乌干达、苏丹与埃塞俄比亚境内的尼罗河水。但达尼诺很快便如愿以偿。

1952年纳赛尔上校（1918—1970年）与“自由军官”（埃及军队中的国家主义革命分子）的伙伴掌握了埃及政权，决心除去国内残余的英国势力，并洗刷国家贫穷与弱小的耻辱。政变发生一个月后，达尼诺向两名同时也是自由军官技术顾问团成员的熟识军队工程师，提出兴建更高水坝的构想，再由他们向纳赛尔提出。迅速成为埃及强人的纳赛尔马上就抓住机会，他把阿斯旺水坝当作一种象征，有助于为他自己、他的革命政权及阿拉伯民族主义，创建起充满活力且带有英雄色彩的形象；他也在这项计划中，预见埃及将拥有稳定的水源供给，足够的水力发电也能使埃及转型为工业国家。把自己比拟为法老的纳赛尔表示：“在古代，我们为死去的人兴建金字塔；现在我们为活着的人建筑金字塔。”这座水坝将帮助他为埃及带来真正的独立，以及“长久的繁荣”。[35]

从水利的观点来说，位于埃及南部的阿斯旺并不适合建造高坝，因为那里是全球程度最高的蒸发区（evaporation zone）之一。在此建造水库，只会增加珍贵的尼罗河水蒸发的表面积。适当的储水地点应建在上游高海拔处，那里的冷空气让河水不那么容易蒸发。英国水利学家的计划是在埃塞俄比亚与乌干达建造水坝，以既有的湖泊储水。这项计划在水利上的合理性无懈可击。因为英国掌控了乌干达与苏丹，在埃塞俄比亚与埃及也维持影响力，因此对英国来说，这计划在政治方面也相当合理。这项计划甚至在1949年由埃及内阁通过成为国家政策。

不过在1952年之后，埃及民族主义者的心态有所改变。外国的水坝并不适合纳赛尔，他不认为可以把埃及的命脉交给英国，或者是苏丹、埃塞俄比亚及乌干达等新兴国家。

结果纳赛尔有了很好的借口：英国首相安东尼·艾登（Anthony Eden，1897—1977年）很快就会下台。在诸多原因之下，1952年后英国与埃及的关系恶化。纳赛尔在1955年初与捷克斯洛伐克达成协议取得苏联武器，因此伦敦与华府部分人士担心纳赛尔很快就会成为莫斯科的傀儡。为了说服纳赛尔不要接受苏联对阿斯旺水坝的支持，1955年英国与美国同意资助这项计划。但纳赛尔并未因此合作，于是在1956年夏天，美国与英国宣布将不借款兴建水坝。一周内纳赛尔便拿下当时仍由英国一家公司所经营的苏伊士运河，并宣告将以运河收入来兴建阿斯旺水坝。这个举动导致1956年10月法国、英国与以色列对埃及发动联合攻

击，史称苏伊士运河危机。

美国人拒绝支持这次攻击，而英国、法国与以色列又无法独力支付这场战事的经费。伦敦与巴黎只好忍痛取消入侵并撤军。获得胜利的纳赛尔成了埃及、阿拉伯世界及所有殖民地的大英雄。英国与法国遭到严重羞辱，只好加速或计划让帝国里的殖民地脱离殖民。与此同时，苏联的工程师则在20世纪50年代末期规划高坝。这项工程自1960年开始，1971年结束，即纳赛尔过世一年之后。经费由苏联及苏伊士运河的收入支付。阿斯旺高坝诞生不易，其政治后果也遍及全球各地。[36]

阿斯旺对环境造成的影响仅限于区域性，从苏丹延伸到地中海中部。阿斯旺高坝能储存纳赛尔湖（Lake　Nasser）150立方千米的水量，相当于尼罗河两年或三年的流量，而且是1934年水坝储量的30倍。它挡住了98%的可能会覆盖埃及人居住地的淤泥。[37]它改革了埃及农业，让水源的使用更系统化，因此每年可栽种两到三种作物。它也完全控制住洪水，保护棉花作物不受严重洪水破坏。大米、玉米及棉花这些夏季作物的生产因而兴盛了起来。阿斯旺以下的尼罗河成了一个巨大的灌溉沟渠，而且完全在人类的掌控之下。在1977—1990年，高坝的涡轮发电量达到埃及整体电力的1/3。[38]在这些层面来说，阿斯旺高坝实现了纳赛尔的期望，即使它并未给埃及带来繁荣与独立。水坝明显改善了尼罗河这上天恩赐的一半。

水坝也让另一半恩赐功效尽失。1963年后来自埃塞俄比亚的土壤补充不再出现。没有了这层肥沃淤泥作为追肥，埃及农业只好转而大量使用化学肥料，因而该国肥料用量在全球数一数二。阿斯旺发电电力多数输往肥料工厂。盐化作用也成为一大威胁。由于每年不再有洪水冲刷，土壤中留存了较多的盐分。三角洲最北端因为海水入侵，有时甚至深入内陆达50千米，当地因此饱受盐分累积之苦；在尼罗河谷，稳定且免费的水源供应导致过度使用、积水、地下水位升高，终究造成盐分累积；所有抽取地下水的地方也都受到影响。从阿斯旺到地中海这大约1200千米的距离，尼罗河只下降了87米。由于坡度不大，灌溉农田的排水问题花费相当大，而且从未解决到令人满意的程度。苏联工程师解决埃及这个问题时，并不比他们在中亚的案例更为成功。对于像埃及这样天然资源不足，而且在20世纪90年代每年人口增加上百万的国家来说，农业的威胁是相当紧急的大事。[39]

更不祥的是，尼罗河三角洲开始缩小。尼罗河三角洲上住了3000万人，占埃及农业区的2/3。尼罗河三角洲诞生于7500年前，到20世纪初

面积约有2.4万平方千米，相当于阿尔巴尼亚或美国马里兰州。在19世纪，尼罗河三角洲一度扩大至地中海中5～8千米处。但随着1902年阿斯旺低坝完工，三角洲便不再往前扩大，有些地方甚至开始后退。地中海洋流冲刷长期沉积物的速度略微加快，新淤泥来不及填补流失的部分。在1964年后，海洋因为淤泥完全停止而流经三角洲。部分地区海岸线每年后退的速度高达70～90米，迫使人们向内陆迁移，灯塔的位置成了外海。沉积物转而堆积到纳赛尔湖，形成了新的尼罗河内陆三角洲，到1996年面积已达原本规模的1/10，但地点较不便利。[40]

水坝留住的不只是有用的淤泥，它还让尼罗河携带的养分无法流入地中海，3万名埃及人赖以维生的沙丁鱼及虾类渔业因此遭到破坏。埃及沿岸潟湖的鱼群也因为养分变少、污染增加而减少。没有了洪水的冲刷，埃及的灌溉沟渠开始适合水葫芦这种美丽却有害的野草繁殖。传播血吸虫病（一种攻击肝部、泌尿道与肠道，且会使人衰弱的疾病）的蜗牛爱吃水葫芦，喜居于不流动的水中，因而在现代埃及大量繁殖。因为改成长年灌溉，乡村地区埃及人的血吸虫病感染率增加了5～10倍，1975年后许多居民区的感染率更达百分之百。[41]因此，淤泥流失与阿斯旺高坝的其他效应，让埃及人在环境与健康方面付出了越来越严重的代价。

水坝也淹没并侵蚀了尼罗河谷的文化遗产。现有部分文化遗产躺在纳赛尔湖湖底。尼罗河沿岸其他地方，持续性的灌溉与排水不佳造成地下水位上升，无数遗迹下方的基石因此积水。水汽窜进年代久远的石头内部，然后蒸发留下盐分。这些盐分结晶后会使石头表面产生裂痕，石头表面具有千年历史的雕刻或漆色因而毁损。空气污染在25年内对雅典卫城珍宝所造成的伤害，更甚于2500年的风化过程，盐蠕变（salt creep）对法老时期埃及所留下的文化遗产亦是如此。[42]

水坝解除了尼罗河不定期泛滥的昂贵代价，因此水坝兴建后埃及人口增为原来的两倍。然而尽管尼罗河水整体供应全年不间断，人口倍增却也使得供水无法满足埃及人的需求。正如水利学家所预期的，尼罗河每年流向纳赛尔湖的水量，会因为沙漠空气蒸发1/6以上。这种水分的流失最终还是让埃及付出代价。20世纪70年代，埃及总统萨达特大方地提议以色列可以利用部分尼罗河水。到了90年代，埃及已经没有多余水源，苏丹或埃塞俄比亚可能增加尼罗河水用量的恐惧也挥之不去，同时还得担心尼罗河水流可能会因为气候变迁而减少。

阿斯旺高坝延后了埃及的最后审判日。纳赛尔经常表示，埃及日渐

增长的人口是兴建水坝的正当理由。但20世纪末水源再度短缺，埃及得再度依赖他人，而且不论是现代或未来的埃及人，都在环境方面尝到了额外的代价。穆罕默德·阿里、克罗姆勋爵及纳赛尔用人类历史上唯一的大型生态永续灌溉系统，来交换这最后审判日的延迟，而5000年来这系统维持了亿万条性命，让埃及成为横跨法老时期与工业革命、地中海地区最富庶的土地。

水坝的影响并未止于埃及国界。为了建造水坝，纳赛尔要求与苏丹达成分享水源的协议。在历经艰难的协商与喀土穆一场军事政变后，他终于在1959年如愿以偿。喀土穆的新政府面临5万名努比亚人（Nubian，苏丹北部少数民族）的激烈抗争，因为他们的城镇与村落将沉入努比亚湖（Lake Nubia），也就是水库位于苏丹的部分。苏丹被迫动用武力强迫居民迁徙。20年后，这些居民仍想讨回他们位于河边的家园与椰枣林。[43]

各种结果中影响最为持久的，就是阿斯旺高坝改变了地中海的水域与生物圈。1964年之后，只有极少的尼罗河水——大约先前数量的10%——流入地中海，又因为流入地中海的河水本来就不多，尼罗河流入地中海水量减少便大大影响了地中海东部的盐度。在盐度较高的海里，新的物种快速繁衍。自1869年苏伊士运河开放以来，鱼类便可在地中海与红海之间穿梭。只有少数鱼类能够存活，直到地中海盐度升高至适合红海中生物的程度。但有了阿斯旺水坝之后，鱼类、软组织动物等其他生物开始迁徙。它们移居到地中海东部，尤其是黎凡特（Levant）水域，但也一路向西达到西西里岛。这些勒赛普迁徙动物［Lessepsian migrant，以苏伊士运河建造者勒赛普（Ferdinand de Lesseps）命名］有些为商业用途，特别是对以色列的拖网渔船而言。过去因地形而分离的印太地区（Indo-Pacific）与地中海鱼群，因为一场无法挽回的生物入侵而结合，未来也将持续改变地中海的食物网。苏伊士运河与阿斯旺高坝背后的算计，针对的是稍纵即逝的政治环境；它们所带来的生物变迁，却会持续数百万年。[44]

水域的革命：意大利波河河谷　争取政治权力与电力的斗争，也让意大利的水源、经济与社会为之改观。19世纪英国与德国在地缘政治及经济方面大获成功，在全欧洲带动了改革、革命与自然的重组。就像埃及一样，南欧的政治精英也希望释放社会的经济力，带动人口增长，且不计代价追求国家富强。最受欢迎的手段就是工业化。这需要非生物性的能源、充足的基础建设、针对城市工人提供额外的粮食供给，还有重

大的社会变迁。

1890年之后，意大利北部集上述所有条件于一身。[45]波河盆地面积占意大利的1/6，人口占全国的1/3。盆地大多地势平坦，几千年以来在这块沃土上耕种的人都会遇上排水问题。罗马的殖民者、中世纪僧侣，以及文艺复兴时期的王侯，都曾试图驯服盆地上蜿蜒的水域。尽管经过多次努力，1890年亚平宁山脉（Apennines）与阿尔卑斯山脉之间的土地上仍有许多沼泽，道路不多，工业也不发达，而且夏季还常暴发疟疾。但只要有政治意愿、资金及适当的技术，这些都是可以改变的。

在波河河谷上游，从19世纪起地主与政府便开始利用湿地与季节性草原的农业潜力。凭借大量资金与努力不懈，伦巴底人（Lombards）改变了当地水道的面貌，兴建排水与灌溉沟渠，让伦巴底多数地区均适合种稻。[46]这番努力随着1866年加富尔运河（Cavour Canal）完工而达到高峰。到1861年才统一的意大利，1882年后政府慷慨地进一步针对排水、灌溉与渠道化（channelization）提供补助。这些补助来得正是时候，因为1870年后意大利农民开始感受到廉价美国小麦与缅甸稻米的冲击。波河河谷的地主很快便利用国家的补助。在1882—1914年，他们在特定的时间与地点限制水源，将沼泽的水排干，调整田地的形状，采用农耕机械与化学肥料，使得农业产出量达到原来的两倍或三倍。当地作物以小麦、玉米及稻米为主，但也有苜蓿、大麻和糖等特殊作物。借由这样的做法，他们几乎完全消灭了波河的沼泽地及附近的渔猎农混合式的生活形态。[47]疟疾也开始减少。

这只是“水域革命”（revolution of the waters）的开端。[48]到了19世纪90年代，米兰一些有远见的人认为“白色煤炭”大有可为，也就是利用流入波河的阿尔卑斯山激流进行水力发电。由于国家热心赞助，皮埃蒙特（Piedmont）与伦巴底兴建了水坝与发电厂，足以供给米兰与都灵快速工业化所需。意大利缺乏煤炭，工厂支付的煤炭价格约为英国的8倍。如果意大利要与20世纪能源密集经济体竞争，只有水力发电能带动意大利生态与社会所必须经历的转型。正如财经界领袖朱塞佩·科隆博（Giuseppe Colombo）所言：

> 长途输送电力对意大利来说代表了非凡的意义，即使是最具想象力的人也难以预见所有的可能性。这可是件足以完全改变国家面貌的大事，总有一天将带领国家跻身天然资源与工业最为丰富的国家之列。当那些仰赖煤炭而富足的国家资源用罄

之日，就是拥有丰富水资源国家的转机到来之时。[49]

意大利拥有从阿尔卑斯山如瀑布落下的水源，并企图抓住转机。意大利第一座水力发电厂可追溯至1885年，第一座大型水力发电厂则在1898年启用。到了1905年，意大利的水力发电量在欧洲居冠。到了1924年，意大利发电量达180万千瓦，接下来15年又增长了1000倍。1937年，意大利几乎所有电力均由水力供应。多数电力来自阿尔卑斯山，因为那里的结冻冰河河谷本身就是水坝。1890年之后出现了许多水坝与人工湖，淹没了森林和草原。阿尔卑斯山地区的柯摩湖（Como）、马焦雷湖（Maggiore）与加达湖（Guarda）成了水库。伦巴底到处可见输送电力的电线。米兰是全世界第二座以电灯作为街灯的城市。19世纪纺织业向上迁至阿尔卑斯山坡地，以便更为接近木材与水力发电，但电气化时代来临后，马上就向下迁移到波河河谷（但也带来了化学染料的污染）。在1901—1927年，米兰、都灵与热那亚之间已经电气化的三角地带，意大利工业劳工有3/4均聚集于此。[50]农村电气化让农民能将水抽送至山坡上，造成1920年之后沼泽排水的盛行。[51]意大利北部的生态变化其实是自己造成的。

1890年后意大利渐成欧洲帝国强权，电气化便是背后主要动力。意大利北部过去便有冶金、铁路、造船、飞机及其他战略性产业，尤其是在第一次世界大战与战后期间。1896年该国军队甚至曾在埃塞俄比亚落败，但20世纪30年代已拥有半工业化军队。在1922—1943年进行独裁统治的墨索里尼，希望能同时达到经济独立并重整军备。意大利工厂大量制造船只、交通工具、弹药与武器，数量足以让墨索里尼攻打埃塞俄比亚（1935—1936年），接着再插手干预西班牙内战（1936—1938年）。到了1936年，意大利已创建并供养了一支海军，不但让地中海地区的英国人严重关切，甚至有可能让地中海再度重生为古罗马时期“我们的海”（mare nostrum）。意大利北部若不是如此持续地进行环境改造，利用阿尔卑斯山的水力发电，墨索里尼的地缘政治便不可能实现，反而只会显得不切实际。[52]

环境变迁的速度虽为社会带来纷扰，却相当契合某些意大利人的心意，特别是好战的前卫知识分子与未来派艺术家。雕塑家兼画家翁贝托·波丘尼（Umberto Boccioni，1882—1916年）曾道出他的看法：

> 通过铺路、填湖、岛屿沉没、兴建水坝，通过夷平、清

> 空、钻孔、破坏、竖立等动作，由研究与创意所推动的人类破坏力，实在无比壮观。这种神圣的不安于室精神，将我们推向未来。[53]

这确实将意大利推向了法西斯主义。伴随着意大利北部环境重整的社会变迁，来得快且带来痛苦。工业化在米兰与都灵孕育出一群具有阶级意识的无产阶级分子。波河沼泽地出现稻田及玉米田后，手中无田产的乡村劳工人数也越来越多：资本密集企业取代了波河泛滥平原上以家庭为基础的渔猎农业。不论拥有土地大小，波河河谷的地主常觉得自身利益与城市及乡间劳工有所冲突。1919年之后，这些地主、农民形成墨索里尼法西斯运动背后强大的支持。北方凭借水力发电而新近崛起的工业大亨亦是如此。环境与社会的重整就此携手合作。1890年后改变的速度快到失去方向，造成政治怨气升高，而法西斯主义即为这股风潮的顶点。[54]

美国与科罗拉多河　1900年之后，美国西部发起了一场大规模的水源管理计划。美国西部经由三条大河流系统进行排水：科罗拉多河、圣瓦金——沙加缅度河（San Joaquin-Sacramento River）以及斯内克——哥伦比亚河（Snake-Columbia River）。这三条河都在1900年后大幅重新改造。接下来将介绍科罗拉多河的故事。[55]

科罗拉多河排水盆地的面积约略等同于印度河，但它的水流更小。这个盆地鲜少下雨，且多在进入河流前便告蒸发。然而过去科罗拉多河仍严重泛滥。春季期间河水流量是平均值的数倍，带走大量的西南部土壤：其淤泥量为密西西比河的17倍。这是一条失控又难以控制的河流，但1900年后，科罗拉多河激起了激烈的反应。

1900年，加州帝王谷（Imperial Valley）的栽培者开辟了阿拉默运河（Alamo Canal），将来自墨西哥的科罗拉多河河水引入他们的农田。1905年他们又建造了另一条运河，但一场大洪水毁掉了部分供水系统，并且淹没河谷地区，沙尔顿湖（Salton Sea）也因此诞生。[56]未久，老罗斯福总统与南太平洋铁路公司，与加州栽培者携手合作控制科罗拉多河，以保护河谷地区农业。第一座高坝称为罗斯福水坝，于1911年出现在支流盐河（Salt River）之上。之后兴建了更多的水坝与灌溉沟渠，最著名的是1935年位于亚利桑那州与内华达州边境科罗拉多河上的巨石水坝（现称胡佛水坝）。到了1964年，共有19座水坝控制着科罗拉多河水系。

1964年后，科罗拉多河变成一条完全不同的河流。水流平稳得多了，各季节水量的差异也缩小。沿岸的植被也随之改变，因为植物不必适应严重汛情就能存活。因为水坝阻止了淤泥以及大洪水冲刷的效应，河流的实体河床也有了很大的改变。物理与生物面的变化相当严重，以至于1983年后美国当局刻意允许大规模泄洪，以仿真过去发生洪水的状况，希望借此制造出旧有机制下的状态。河中的化学状态也改变了。河水携带了更多的淤泥与盐分。1917—1961年，河水盐分增为原来的三倍，因此流经墨西哥的少数河水几乎都是无用处的盐水。到了20世纪80年代，科罗拉多河水域灌溉面积相当于美国康涅狄格州或黎巴嫩，其中包括大部分的帝王谷农田。当地水域产生了大量电力，并用于美国西南部。约有1500万人直接依靠科罗拉多河这套新制度。

改造河流对某些人来说相当适合，但对其他人则不然。美国有7个州与墨西哥共享科罗拉多河。从20世纪初，美国与墨西哥就为了水量与水质争论不休。墨西哥农民利用科罗拉多河沉淀物来灌溉下加利福尼亚（Baja California）与索诺拉州（Sonora）的农田，尤其是1950年后墨西哥在科罗拉多河下游兴建了莫雷洛斯水坝（Morelos Dam）。由于灌溉水源会回流到河中，盐分成了一大问题。1973年签署的一项协议，要求美国必须通过淡化作业，降低科罗拉多河的盐分。1979年美国变更了部分灌溉用水回流的路线，借此达到相同效果。但灌溉水的持续抽取与回流让问题再度复发。自1905年起，美国各州为了科罗拉多河水争执不休，所衍生的诉讼数量是其他河流所不能及的。据说马克·吐温曾表示，威士忌是拿来喝的，而水是拿来吵架的。至少在20世纪，科罗拉多河水是用来打官司的。

就像印度一样，水坝的兴建在美国西南部引发了政治抗争。这里的反对者却不像印度一样，多半是反对为水库迁居的市井小民。相反地，他们基本上反对河流遭到改变，尤其是风景最美的河段通常也是最陡峭而适合开发水力发电的段落。20世纪50年代，反对者以塞拉俱乐部（Sierra Club）、奥杜邦学会（Audubon Society）等保守主义组织凝聚力量，阻止了大峡谷、（犹他州）恐龙国家公园（Dinosaur National Park）兴建水坝的计划。格兰峡谷水坝（Glen Canyon Dam）这座科罗拉多河第二大水坝的兴建计划，反对者阻止兴建却失败了，而水坝也在1964—1965年完工。但在这之后就未再出现大型的新计划。

科罗拉多水系受控制后，美国西南部也因此重整，就像印度河计划之于旁遮普，苏联计划之于中亚。它让农业得以发展，廉价电力也让冷

气成为实用的技术，同时还带动快速开发与人口流入。现代加州与西南部农工业的杰出成就，以及美国崛起成为环太平洋地区大国，其实都是因为成功地控制了科罗拉多河，还有哥伦比亚河。

尼罗河、印度河盆地、锡尔河与科罗拉多河的跨国特性，突显了另一个在20世纪末引起全球各国与人民注意的议题：就是如何确保用水供应无虞。随着人口增加、经济增长加上不知节约用水，用水需求持续增长（请见表4.1）。在水源供应短缺且必须与其他国家共享的地区，经常会爆发冲突。全球多数大河均跨越多国，而且大多是干燥地区唯一重要的水源。邻国之间对水源使用的安排鲜少皆大欢喜，像墨西哥就绝对不会满意，但这些安排还是防止了各国直接诉诸战争。有关尼罗河、约旦河、底格里斯——幼发拉底河（Tigris-Euphrates）、尼日尔尔河、湄公河、布拉马普特拉河、赞比西河（Zambezi）与拉普拉塔河（la Plata）的争议，未来仍将考验各国的谈判技巧，而这不过是其中几例。[57]

南亚次大陆、中亚、美国西南部及地中海大规模水源管理的经验都是好坏参半：这种做法大幅增加了粮食与电力供应量，同时也制造了一大堆严重的环境问题。世上几乎每个国家都实施某种程度的灌溉，而且历经好坏两极的结果。水坝与灌溉对决策者具有莫大的吸引力。它很快就可以看到明显效果，而且有很大一部分可以为国家、大地主与势力强大的产业所利用。它的代价则常被转嫁到穷人、不具权势者及外国人或其后代子孙身上。由于这些因素，全球灌溉总面积在1900—1995年，从5000万公顷扩大到将近2.5亿公顷（见表5.1）。

表5.1 全球灌溉面积（1900—1990年）

年份	全球总面积（百万公顷）
1800	8
…	…
1900	48
…	…
1950	94
1960	137
1970	168
1980	211
1990	235
1995	255

数据源：Gleick 1993：265；Postel 1999：41

正如表中所示，扩张最快的时期在1950—1980年。1950—1976年中国灌溉面积增长为原来两倍以上，是毛泽东领导期间的一项特色。[58]到了1980年，全球最好的水坝建筑地点都已用罄，但各国仍在寻找适当地点。在20世纪末，巴西、魁北克、委内瑞拉与尼泊尔都在兴建或规划更大型的灌溉或水力发电工程，而中国则开始建造最大的水坝。

20世纪90年代，中国重新启动在长江这条亚洲最大河流上游兴建水坝的计划。三峡大坝早在1919年即为孙中山（1866—1925年）所提出，但之后70年仅止于纸上作业。三峡大坝计划的起死回生，后来的确在中国精英间引发争议，但若根据计划完工，这将成为全球史上最大的水利计划。它将创造出一个与密歇根湖等长的湖泊，100万～200万人必须迁居。它也将彻底改变居住在长江水域里鱼群、水鸟与淡水豚（river

dolphin）的生存条件。它将拦住这条全球淤泥最多的河流中的沉积物，剥夺中国最肥沃的长江三角洲上经年累积的养分补给。它还会淹没一部分的中国文化遗产，还有该国最为人称羡、几世纪来成为诗人与艺术家灵感来源的秀丽景观。中国希望用这些代价与风险，来改善长江航运，控制这条危险河流的洪水，并增加大约10%的水力发电量。[59]三峡大坝改变长江与中国东部沿海省份程度之深，好比阿斯旺水坝改变了尼罗河与地中海。

水源管理符合了掌权者的政治利益，但它也造福了数百万人。对那些没有被水坝淹没、被水源传染病所苦，或受盐化作用影响的人来说，水坝与河道转向往往大有帮助。在1990年，灌溉农田占全球耕作总面积的16%，占粮食生产总量约30%。1995年水力发电供给全球约7%的商用能源，以及20%的电力。由于这些因素，20世纪的大规模水源管理工程造福了全人类。

相对于粮食与能源生产方面的成功，水源管理却带来了不良的环境记录。20世纪改道的水源当中，超过半数遭到浪费：不是蒸发掉，就是在作物吸收或抵达涡轮之前即已渗入土中。美国或苏联开发出来的建筑水坝技术，未经深思熟虑便被应用到高蒸发量地区，造成大量水源流失。同样的技术也出口到像阿尔及利亚与中国等极易受侵蚀的地区，最后因沉积作用而被迫提早放弃水库，中国甚至有个案例必须在水坝完工前就放弃。到了1980年，印度、巴基斯坦、美国与埃及约有1/4的灌溉面积受盐化作用侵蚀。[60]在20世纪90年代，盐化作用严重影响全球10%的灌溉面积。到了1996年，它毁损土地的速度跟工程师们新增灌溉农地的速度一样快，因此全球灌溉总面积大抵维持不变。[61]积水与养分流失让问题更加恶化。在整个20世纪，灌溉其实是一种可以达到最大效果的短期策略：可以节省排水的经费、人力及省水措施，而农民与工程师其实是拿未来做抵押。

这场全球性的伟大水道改造计划不只危害了未来的农业，也毁掉了20世纪众多人民的生计，有时甚至夺走生命。水坝让数百万人在毫无赔偿的情况下被迫迁居，整个世纪可能有4000万人受害。水库与运河有助于传播病原体或昆虫带原体存在于水中的疾病，包括疟疾、血吸虫病、霍乱、伤寒，还有许多其他臭名昭著的致命疾病；水源管理就这样不知不觉地在20世纪夺走数百万条性命。[62]全球性的河流改造，可以算是20世纪最明显的环境变迁之一。



在马里（Mali）境内尼日尔尔河边的恩德布古（N’Debougou），法国殖民当局希望开发出灌溉农地。图中这台美制的挖沟机需要6人操作，每天可挖掘1.6千米长的灌溉沟渠。1950年以后，机械的力量为全球各地的干旱土地带来希望与危机。在非洲最后数十年的殖民岁月里，到处可见土地改造以符合经济开发计划的需求。本图约摄于1950年

洪水的控制与湿地的排水

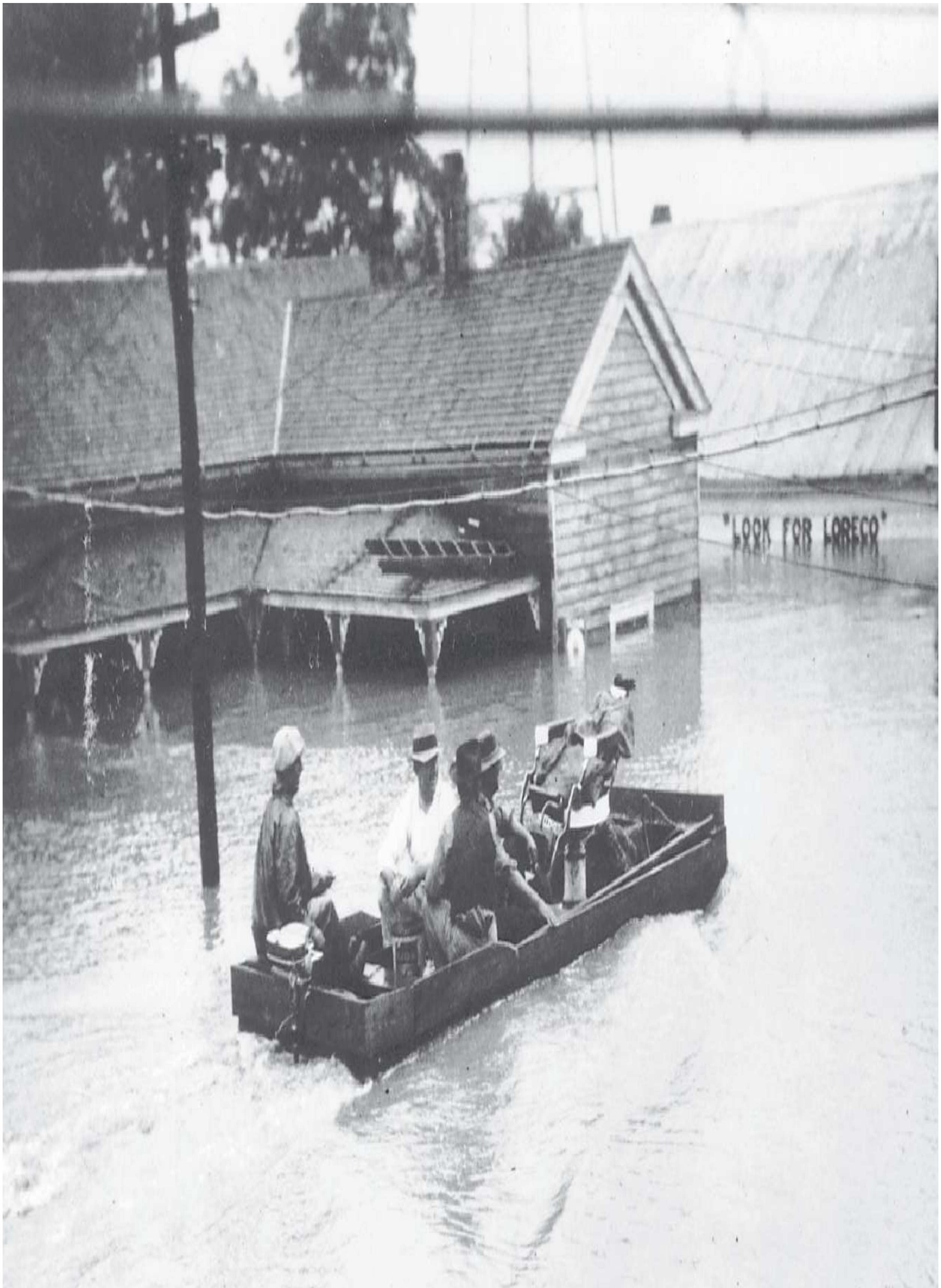
就全球淡水循环最重要的实体改变来说，分流与水坝占了最大的比重。这些工程的主要目的，是要在适当时间为适当地点取得更多水源。但人类也会为了干涉农业或其他用途而将水分自某地排出。在20世纪，这种案例最常发生在湿地的河流泛滥平原。

河流渠道化的目的是控制洪水、方便河运，以利于在肥沃的洼地进行农耕。这种工程代价高昂，因为要在反复无常的河流上兴建沟渠，将水限制在渠道中，还要将水排出泛滥平原。这只有富国才有能力负担。中国在帝制时期便曾致力于控制河川，但到了现代仍以欧洲与北美居冠。1800年后不久，莱茵河便被截短取直。1800年以前伊利诺伊伊州泛滥平原都只有水獭建造的水坝，不过到了1990年后，该州有1/4的河流成为沟渠，其中还包括伊利诺伊伊河的一半。今日约有6%～7%的美国河流是在人造河岸之间流动。[63]其中最大者就是限制密西西比河水流的工程。

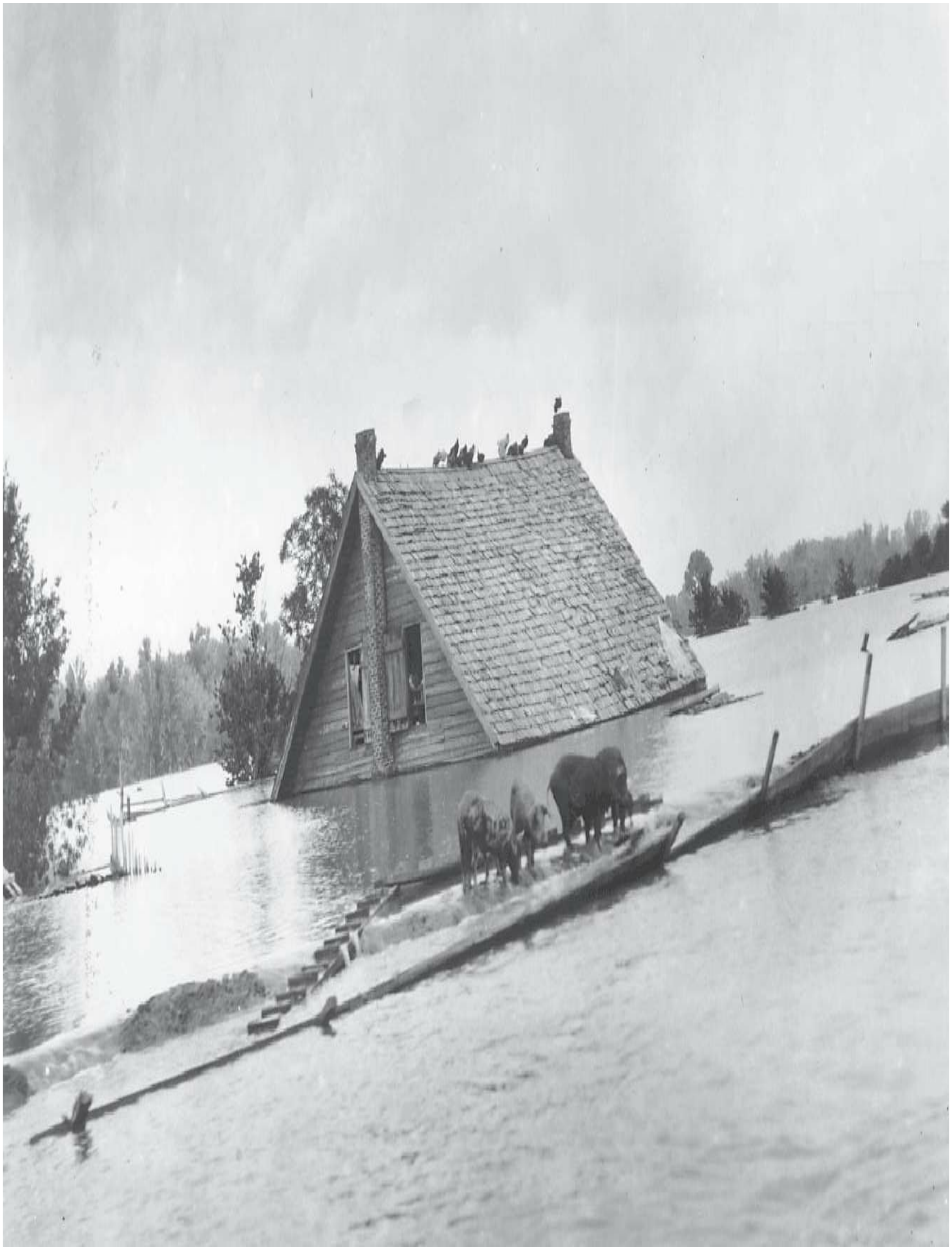
密西西比河是全球第六长的河流，泥沙量排名第六，水量则排名第八。其流域覆盖美国本土41%的面积。只要密西西比河泛滥，所有人都会知道。18世纪第一批大堤出现在密西西比河下游，而19世纪有许多经费充足的社区，试图将洪水转移到邻居的土地上，因此又出现了其他大堤。1895年后联邦政府补助兴建大堤。但直到1927年后，密西西比河汛情才出现严重的全面性挑战。那年春夏期间密西西比河出现史上最大规模洪水。从俄亥俄州与密西西比河会合处［位于伊利诺伊伊州开若（Cairo）］以南，河水淹没了170个县的河岸与大坝，数百人因此丧命，并形成一个160千米宽的浅湖。新奥尔良只好炸掉大堤，让洪水扩散到刘易斯安那州与密西西比州乡间才得以幸免。当时担任美国商务部长的胡佛成功地组织了大规模的救援行动，也让他赢得高度民意支持，并在1928年当选总统。

这次洪灾之后，美国陆军工程兵团便有系统地处理密西西比河的问

题。1928年颁布《防洪法》（*Flood Control Acts*），1936年又授权在密西西比河下游兴建一个自成系统的大堤、水坝与水库，理论上应可将河水限制在单一渠道内。工程兵团将河流取直以方便河运，并在1932—1955年截短了229千米的河道。工程兵团所建设的防护，在1951年、1965年、1969年与1973年都成功地阻挡了洪水。到了1990年，密西西比河有26座水坝（密苏里河有60座）以及数千千米的堤防与大堤。但大堤的作用还是有限，1993年一场洪水便越过大堤，淹没了9个州共50万公顷的土地，损失金额达120亿美元。渠道化意味着为人类与财产带来严重损害的洪水更少，但也因为它为泛滥平原带来屯垦与投资，同时也意味着大型水患将造成更严重的伤害。1993年那场洪水，促使各界在90年代重新思考渠道化的必要。然而已经有这么多的人力与资金投入密西西比河及其支流，很难想象要放弃这种模式。[64]


"LOOK FOR LORECO"

1927年晚春，密西西比河漫过了原本设计用来限制河水的河岸与大堤，淹没了美国南部170个县。洪水过后，美国陆军工程兵团加紧努力控制河水。图为刘易斯安那州梅维尔（Melville）水灾期间，努力不懈的理发师仍用船载着谋生用具寻找老顾客



1927年密西西比河洪灾造成50万人迁离家园，数百人因此溺毙。图为一处农家全家爬上阁楼避难、家禽躲在屋顶梁嵴的情形。小猪一家被孤立在大堤顶端。照片摄于1927年5月18日，但地点

不详

渠道化影响了整个冲积生态。它使得密西西比河的主要分支脱离了原来的河岸、牛轭湖（oxbow lake）与泛滥平原，其中的水中生物必须面对新的环境。许多物种失去了产卵地，河中渔获量也大幅减少。过去具有过滤河水并降低污染作用的淡水贻贝数量也下滑。有好几种贻贝就此绝种。最南端的大堤将淤泥带进墨西哥湾，然后沉入大陆架底，密西西比河三角洲因此缺少淤泥。三角洲与河口地区开始下陷并萎缩。[65]

湿地排水　为美国心脏地带的洪水提供缓冲的湿地出现排水现象，是密西西比河洪水难以控制的原因之一。湿地排水的历史可能与农业一样久远。古代文明便已使用这种技术，中世纪欧洲人更是擅长。直到20世纪60年代，几乎没有人认为湿地比排水过的土地有用。因此不论经费、人力或技术是否充足，全球各地的湿地都遭到严重破坏。

北海边缘地带即为一例。这里从中古时期便开始筑堤并排水，尤其以16—17世纪的荷兰扩张特别迅速。建筑在过去曾为泥炭沼泽的土地上、用来汲水的著名荷兰风车，就是从这个时期开始的。但20世纪的科技让人类进行野心更大的作业，而1953年一场暴风雨引发洪灾，封住了莱茵河数条支流河口，之后便密集开发新生地，这股风潮因而达到顶点。拜新生地开发之赐，目前荷兰有半数人口居住在海平面以下。1630年起打开大型排水工程的英国东部沼泽地区（the Fens），也在20世纪历经转型。柴油及电动抽水机代替了蒸汽机与风车，英国东部沼泽地区干涸的面积因而增加。在荷兰与英国，新生地总面积相当于卢森堡，其中大部分是在1900年后取得，且其中有一半取自北海，半数原为内陆的沼泽与湿地。这里成了欧洲数一数二的耕地。英国东部沼泽区现在也开始实施灌溉。[66]

在19世纪，北美洲的曼尼托巴（Manitoba）及南北达科他州到安大略与俄亥俄州之间的地区，是世界上最大的湿地之一。这片广大地区多数有季节性积水，常暴发疟疾且难以耕作。1842年小说家狄更斯造访伊利诺伊伊州时发现：

> 在这片阴森森的沼泽，盖到一半的住屋开始腐蚀：空出几米大的空间，然后就长出恶臭而有害健康的植物，在它们恶毒的阴影下，被引诱至此的可怜流浪者倒下、死亡，留下尸骨，这是疾病的温床，丑陋的墓穴，没有一丝希望的坟地；这是一

个在空中、地上、水里都没有任何特质值得称赞的地方。[67]

当地人尝试排掉沼泽中的水，种些比较有益健康的植物。挖掘排水沟渠是进度缓慢的工程，有时最多得用上68头牛来拉动除水犁。[68]1870年后，草原上的农民开始采用瓦管排水，也就是以陶瓷材质的管线将地下水引至最近的溪流。到了1880年，伊利诺伊伊州、印第安纳州与俄亥俄州有超过1000家制瓦厂，将草原黏土制成排水瓦管，农民则将湿地草原与经年存在的沼泽转变成肥沃农地。1900—1920年，还有1940—1970年，新垦地的回报特别高。到了1970年，美国农民排水面积约有1700万公顷（面积约相当于佐治亚州），其中包括一部分美国最佳的农地，不但形成玉米生产带且造成野生动物灭绝。[69]

在美国其他地区，农民与陆军工程兵团也同样积极。1930年之后，南部排水面积相当于比利时大小，特别是在阿肯色州、密西西比州与刘易斯安那州等密西西比河低洼地。这其中有一部分属于河流大堤系统（请参见上文）。但1960年后，最适合低洼无霜害地区栽种的黄豆与稻米价格高涨，排水工程更加受到鼓励。1870年后，面积广大的加州中谷（Central Valley）从湿地变成农地与草地。1880年佛罗里达大沼泽（Florida Everglades）面积约有160万公顷（约为新泽西州大小），到了1970年已减少一半。根据最新统计，1780年湿地面积约一亿公顷，相当于美国本土15%的面积；到20世纪80年代只剩下5300万公顷。[70]这些排水工程多半出现在20世纪，几乎所有都在1865年之后。一如往常，农业的收获造成了野生动物的损失：美国濒临绝种动物当中，约有1/3栖息于湿地。[71]

另一个为了先进农业与国家现代化而牺牲湿地的例子，发生在南亚与东南亚海岸的红树林。[72]印度、缅甸与中南半岛上野心勃勃的殖民政权，从19世纪起便希望农民到恒河、布拉马普特拉河、伊洛瓦底江、湄公河等几条河流广大的三角洲上开垦。独立之后，继任政权也渴望持续此一政策。泰国也鼓励以类似方式开发湄南河，目的是生产更多稻米，不但可以供给全球市场，还可以达到自给自足。孙德尔本斯（Sundarbans，也就是恒河与布拉马普特拉河之间的海岸三角洲），以及伊洛瓦底江下游，在1880—1980年转型的规模也不遑多让，两处各约80万公顷的湿地挪作他用，其中多用来栽种稻米。两处三角洲的人口都增加了5倍。这给三角洲的生物圈带来巨大而不为人知的改变。1970年之后，印度尼西亚在加里曼丹及苏门答腊海岸边的红树林，实施更大规模的类似计划。某项统计显示，1900—1980年，六个南亚与东南亚国家

的1300万公顷湿地约半数流失。1920—1980年，菲律宾消灭了2/3的海边红树林。[73]1980年后全球对虾的需求暴增，菲律宾、越南、泰国等东南亚国家，纷纷将海边红树林湿地改成密集而高污染的虾养殖场。这一切意味着更多的稻米与虾，但红树林却大幅减少，而多数人并不排斥这样的转变，就像对北美心脏地带湿地转变成农田的反应一样。只有因这些转变失去栖息地的无数动物，还有靠这些动物维生的人，才有不同的看法。

整体而言，20世纪全球大约共计1000万平方千米的湿地中，约有15%被人类排去水分，面积相当于加拿大。美国有半数湿地经过排水，欧洲则有60%～90%，新西兰则超过90%，其中多数发生在20世纪。[74]

大规模排水工程持续转向非洲，20世纪70年代苏丹政府启动一项计划（1983年后因内战延后），要在广大的苏德沼泽地上建造琼莱运河（Jonglei Canal），排除部分积水以降低蒸发水量并改善尼罗河下游的水源供给。这个计划的目的是改善大多数支持政府的阿拉伯族群的生计，但也对南部经常叛变的丁卡族（Dinka）与努尔族带来未知的生态冲击。1998年，全球剩余的湿地半数集中在西伯利亚、阿拉斯加与加拿大北部。在这里进行排水工程并不会带来好处。超过1/4位于南美洲，其中包括全球最大的单一湿地，也就是巴西西部的潘特纳尔湿地（Pantanal），而当地也在20世纪90年代成为排水工程的目标。20世纪兴起湿地排水的风潮，与河流改造并列为我们这个时代最重大的环境变迁之一。就像其他环境变迁，它代表更多空间供给人类、作物与牲畜，但对人模拟较无用的生物生存空间却越来越小。

海岸线

人类任意更动水道的行为，最经典的例子可能就是改造海岸线的历史了。这种做法需要围住海水，除了信心还需要技术。在改变海岸线方面，20世纪留下了令人印象深刻的记录，而且遍及各地。海岸是变化最大的自然环境之一。海平面会变化，陆地会下沉或上升，山会落下淤泥，然后随海潮与暴风雨四处移动。20世纪改变海岸线的工程，大多是针对不良自然趋势或事件的简单反应。人类所造成的影响在北海与日本相当严重，但在巴西或莫桑比克则相当轻微。这些长长的海岸线，主要还是受大自然的节奏所支配。

最具野心的海岸改造者就是荷兰。1916年的一场暴风潮，将北海部分海水灌入须德海（Zuider　Zee）周围低地。这促使荷兰国会在1890年立法通过一项计划，将须德海海湾封起并进行排水。封闭水坝的工程始于20世纪20年代，1932年宣告完工。接下来60年内持续进行，为荷兰增加13%～14%的土地，并产生了一个新的淡水湖，缩短海岸线达300千米。[75]

全球各地还有类似但规模较小的工程，有十几个国家填海造地，特别是那些像荷兰一样人口众多、土地稀少且财富充足的国家。1970年后，日本、中国香港地区、新加坡、巴林与沙特阿拉伯都对改造海岸特别有兴趣。日本新生地计划规模之大，在20世纪80年代工业有40%设于人造新生地之上。东京湾自19世纪70年代便开始开发新生地，1960—1980年海湾缩小了1/5，已提供日本经济奇迹所需。新加坡通过填海扩张领土达10%。全球总数难以估计，但合理猜测20世纪全球因填海而增加的土地面积约有10万～50万平方千米，面积大概在冰岛与西班牙之间。[76]

结论

在20世纪，人类改变水文圈的程度前所未见。我们利用水源，改变水流方向的程度，是过去所无法想象的。某项数据显示，20世纪末人类直接消耗了整个地球可用淡水径流总量的18%，另有54%以其他方式挪用。[77]有些地方改变水流工程成功，解除了经济发展与人类福祉的限制。灌溉对人类的处境影响甚巨：没有它，我们的食物可能会更少，或者吃的食物会大不相同，又或许地球需要多出1/3的土地用以耕作。在干燥地区，灌溉造成限制的速度几乎跟解除限制一样快，许多案例现在看来似乎并不正确。地下水的使用往往导致抽取地下水，只要水源持续，就能带来地方性或区域性的人口与经济扩张。以水坝及运河限制河流水流，改造栖息地，以便河流更适合人类所用。水循环的实体改变带来的大范围的后果，影响遍及野生动物、人类与社会。我们为了从过去解放自己，也为了人类繁荣而限制了未来。

在遥远的过去，只有能够聚集大量劳力的社会，才有能力改变水文圈；到了20世纪，具有先进技术与足够财富的社会就能办到。富国量身定制属于自己的水文圈，穷国则难以望其项背。殖民强权常聚集大批劳

力来执行大规模的公共工程，如旁遮普即为一例。殖民主义式微后，野心勃勃的统治者利用水利工程满足国内与国际的目的，像现代印度或埃及，在需要时利用能源密集的技术与大批劳工。兴建水坝与湿地排水工程的高潮发生在冷战时期的数十年间，当时美国与苏联深陷于经济与公关的斗争，因此不论国内外的水利计划似乎都相当有用。20世纪的环境史经常发生这样的情况，政治议题往往有助于推动水文圈的改造计划。

[1]Worthington 1983：101所引述。

[2]除非是像伊朗、摩洛哥与阿富汗的坎井，以高海拔地下水灌溉较低海拔的农田。

[3]Opie 1993认为奥加拉拉有30亿英亩英尺（acre-feet）水量，相当于安大略湖。但根据Gleick 1993：449 and 162的换算表与湖泊水量数据，30亿英亩英尺比较接近休伦湖而非安大略湖的水量。

[4]Schwarz et al.1990：265–7有简单记述。最详细者当属Opie 1993，本段讨论多半出于此。

[5]Postel 1992：31–2.

[6]很巧合地，1981年之后西方石油拥有了美国高原上最大的肉品包装公司，位于堪萨斯州豪康（Holcomb）。该公司的作业每年需要6亿加仑来自奥加拉拉的水，成为美国化石水最大用户之一（Opie 1993：154）。

[7]根据Hillel 1994：196–200说法这是不可能窃取的，因为这些井距离边界过远，不可能影响乍得或埃及的地下水（Allan 1994：75–6）。

[8]Jayal 1985：96（有关亚洲）；Stanners and Bourdeau 1995：66（有关欧洲）。

[9]GEMS 1989：152；Smil 1993：42–4；Stanners and Bourdeau 1995：67；Walker 1990：289–90.

[10]Garbrecht 1987；Rouse 1963.

[11]成功的水源管理与法统之间的关连性，其实可回溯至法老时代的治水社会历史。这样的联结性在中国最强，因为孔子的政治理论明确指出，谨慎而具生产力的水源管理能够证明政治力的合法性。

[12]NRC 1992：200；Petts 1990a,1990b.

[13]根据Neuvy 1991：173。

[14]下文主要根据Ali 1988；另见Agnihotri 1996及Gilmartin 1994。

[15]1993年，巴基斯坦农田灌溉比例为80%，为全球第四高，仅次于埃及、苏里南与乌兹别克斯坦（WRI 1996：241）。

[16]Michel 1967：455–6.

[17]GEMS 1989：150；Hillel 1991：146–7。旁遮普灌溉计划也为该地区带来了更多的疟疾、霍乱等其他经由水源传染的疾病。（Agnihotri 1996：54）。

[18]Thukral 1992：9；Centre for Science and Environment 1982：59的数据为14%（1947—1979年）。

[19]Gadgil and Guha 1995：78.

[20]印度两大谷物小麦与稻米，1950—1990年间产量分别增加7倍与3倍（Mitchell 1995：196）。新的作物品种、肥料、杀虫剂等也扮演了重要角色。1954—1979年水力发电量增加了12倍。

[21]Thukral 1992：13–14.

[22]Jayal 1985：97。1955—1985年间，积水造成印度损失600万公顷农地，盐化则伤害了700万公顷。The Centre for Science and Environment 1982：6–7所提供的数据不太一样，认为虽因盐化与积水损失1300万公顷农地，但其中只有600万为近代灌溉所导致。但另有1000万公顷处于即刻危险状态。

[23]The Centre for Science and Environment 1982：56–69检视了印度水坝与环境问题；Whitcombe 1995讨论了殖民时代的灌溉。

[24]Baviskar 1995；Dr.ze et al.1997；Gadgil and Guha 1995：66–78.

[25]Moser 1894调查了中亚灌溉情况。中亚在公元前4世纪时的灌溉面积可能高于1917年。相关历史预估的研究请见Klige et al.1996。

[26]1930—1978年间，海平面下降3米，但1978—1994年上升了1.5米（Micklin 1995：279）。

[27]Kostin 1986；Shiklomanov 1990：38；Vendrov and Avakyan 1977；当然这些鱼群的消失也与农业用化学品的污染有关。

[28]Gerasimov and Gindin 1977：61；Gleick 1993：70。在1929—1933年的第一次五年计划，斯大林引进了意大利法西斯主义者的灌溉与湿地排水技术（Cecchini 1987）。

[29]Quoted in Precoda 1991：111.

[30]Gleick 1993：6；Smith 1995：267指1993年盐分为每公升30～37克。咸海存在的1.5万年期间曾历经多次自然波动，其中部分可能为灌溉所致，但规模都比不上1960年之后的改变（Klige et al.a1996）。

[31]根据S.Ospanov（personal communication,May 1998），1998年这层盐厚达50毫米。到了20世纪90年代末期，每天风会从先前为海床的地方吹起40万吨的灰尘与盐分，散播处遍及从喜马拉雅山到白俄罗斯。某项统计显示，这些盐与砂增加了地球大气圈中颗粒物质达5%。（Lubin 1995：297）

[32]此段叙述取自Feshbach 1995：55–6、Micklin and Williams 1995、Peterson 1993：111–8、Postel 1996以及Precoda 1991，以及1998年5月于塔什干所举行的社会科学研究院（Social Science Research Council）研讨会的与会者。有关鄂毕河的分流请见Weiner 1999：414–28。

[33]桔槔（shadoof）由一根长棒组成，末端有个水桶作为杠杆。

[34]工程师必须让大洪水泄洪通过旧阿斯旺水坝的闸门（以及喀土穆与地中海之间其他十几座水坝），因为太多淤泥会很快积满这座小水库，让水坝无法使用。请见Waterbury 1979：88。

[35]第一段引言引述自Postel 1999：54；第二段则引自1964年5月14日纳赛尔的演说，由Waterbury 1979：98引述。

[36]阿斯旺与苏伊士的国际政治，请见Hahn 1991,Collins 1990，以及Louis and Owen 1989。

[37]三角洲灌溉沟渠挡住了其余的淤泥，以及所有在阿斯旺与开罗间尼罗河沿岸的冲刷物（Stanley 1996）。

[38]发电比重的范围从最低的18%，有几年达到53%，视当时水量与其他来源发电量而定（Said 1993：241）。

[39]Kishk 1986；Stanley 1997；White 1988.

[40]Fanos 1995；Stanley 1996。有趣的是长江三峡会减少流入长江三角洲的沉积物，而长江三角洲因为受洋流、海潮与台风影响，海岸侵蚀速度比地中海快很多。长江三角洲有5000万居民。

[41]Farley 1991；Hunter et al.1993：43–4；Watts and El Katsha 1997。White 1988的血吸虫病数据，显示20世纪30—50年代起它在埃及的发病率大幅下滑；接着就停止上升。

[42]阿斯旺高坝的效应请见Burns 1990、Howell and Allan 1994、Hvidt 1995、Kishk 1986、Mageed 1994、Neuvy 1991：187及Stanley and Warne 1993。Waterbury 1979经过20年后仍相当有参考价值。Said 1993为高坝辩护；Ayeb 1996则有详细说明。

[43]White 1978。在埃及，不顾多数努比亚人意愿，纳赛尔湖淹没了46座努比亚村庄。迁居的努比亚人失去了民族认同，虽令该族耆老失望，却让主张单一民族的埃及民族主义分子相当满意（《华盛顿邮报》,8 January 1998：A23）。

[44]目前地中海东部的鱼类中约有10%～12%为勒赛普迁徙动物。红海则少有来自地中海的鱼类，可能是因为红海盐度太高，不适合地中海鱼类。（Ben Tuvia 1983；Por 1978,Por 1990）

[45]以下部分主要摘自Sievert 1996。

[46]Bianchi 1989：462–4.

[47]1933年以前波河河谷有超过百万公顷灌溉农田，威内托（Veneto）另有大约40万公顷。意大利的灌溉面积超越欧洲任何国家（Bevilacqua 1989；Clark 1984：127–30）。有关1939年以前波河河谷农业肥料、机械与收成相关细节请见Corona and Massullo 1989：375–426，以及Robertson 1938。

[48]此说法摘自Bevilacqua 1989。

[49]Sievert 1996：89–90所引述。科隆波某段时间担任过意大利财政部长。

[50]De Rosa 1989.

[51]Bevilacqua 1989：298–301.

[52]有关意大利海军请见Sadkovich 1996。墨索里尼从未达到自给自足：20世纪30年代与第二次世界大战期间意大利持续进口煤炭，主要来源为德国与波兰。

[53]Fontana 1981：138.

[54]举例来说，请见Corner 1975 on Ferrara。

[55]以下内容摘自Graf 1985、Schwarz et al.1990以及Worster 1985。有关斯内克——哥伦比亚河请见White 1995。有关圣瓦金河请见NRC 1989。

[56]沙尔顿湖现仍存在，湖水则仰赖排自帝王谷的水。1905年该湖形成时为淡水湖，但目前咸度已大约等同于海水。

[57]Postel 1992。有关约旦河请见Lowi 1993；尼罗河请见Waterbury 1979；尼日尔河请见Grove 1985。

[58]Smil 1993：45.

[59]Gleick 1999：84–91.

[60]GEMS 1989：150.

[61]Meyer 1996：77.

[62]请见Neuvy 1991：187–9；Obeng 1977。某些疾病数据出自Gleick 1993：170–224。迁居数字出自Gleick 1999：78 and Gutman 1994。Adams 1992：22–3说非洲水坝与灌溉“极度不成功”，而大型水坝则是“非常不成功”。

[63]NRC 1992：169,194。丹麦河川有90%经过渠道化，荷兰也相去不远（Stanners and Bourdeau 1995：81–2）。

[64]Daniel 1977；Galat and Frazier 1995；Outwater 1996：128–30；Phillips 1994；Turner and Rabalais 1991.

[65]NRC 1992：177。在欧洲，渠道化的河流动物生物量下降了65%～75%（Stanners and Bourdeau 1995：82）。整体而言，渠道化对穷国来说太过昂贵。但各地的殖民政权还是不断尝试，脱离殖民的国家也会为了吸引资金而做。请见Adams 1992：128–54关于非洲的讨论。

[66]De Jong 1987：83–5；Lambert 1971；Williams 1990a.

[67]Prince 1997：121引述狄更斯的《美国随笔》（American Notes）。

[68]Outwater 1996：126.

[69]Prince 1997；Williams 1990a。美国（与加拿大）湿地的破坏有一定程度为意外所致：皮毛贸易的结果。美国一度有2亿只水獭，因此应该约有2000万座水獭建造的水坝。公元7—19世纪的捕杀，大量减少了水獭数量，湿地数量亦然。目前水獭数量在700万～1200万之间。Outwater估计美国有30万平方英里（77万平方千米）由水獭所维持的湿地，面积相当于得克萨斯州（Outwater 1996：17–21,31–2））。同时请见Naiman et al.1986。

[70]数据来自T.E.Dahl,Wetland Losses in the United States：1780s–1980s,Report to Congress,U.S.Department of Interior；由Gleick 1993：295–6所引述。阿拉斯加另有6900万公顷，但几乎全未经过排水。同时请见Vileisis 1997。

[71]ReVelle and ReVelle 1992：55.

[72]Richards 1990a；Richards and Flint 1990.

[73]J.F.Richards的数据在Gleick 1993：293。Zamora的菲律宾数据为Tolba and El-Kholy 1992：170所引述。有关印度尼西亚，请见Ruddle 1987。

[74]Meyer 1996：72；Tolba and El-Kholy 1992：169–73.

[75]De Jong 1987：83–4；Tolba and El-Kholy 1992：112；van Lier 1991.

[76]Walker 1984.

[77]Postel et al.1996。“使用”（use）与“挪用”（appropriation）两个名词的定义既长且牵涉众多假设，使用这些数字时须相当谨慎。

第6章 生物圈：捕食与被捕食

大自然到底是慈爱的母亲抑或残忍的继母，实在难以定论。

——老普林尼（Pliny the Elder），《自然史》（*Natural History*）

“生物圈”（biosphere）这个名词，出自现今知名度不高的澳大利亚地质学家爱德华·苏斯（Edward Seuss）。20世纪两大科学巨头——俄国地质化学家沃尔纳德斯基（Vladimir Ivanovich Vernadsky，1863—1945年）与法国耶稣会教士兼古生物学家德日进（Pierre Teilhard de Chardin，1881—1955年）则让这个观念更为普及。作者将以前面几位科学家相同的方式使用这个名词，指从深海海底到山之顶端各种生物所栖息的空间。这包括充满了细菌的海底、偶有甲虫出现的喜马拉雅山冰河，以及两个极端之间的所有空间。因此它贯穿了水文圈、岩石圈与大气圈，是所有栖息地的总和，是所有生物群（biota）的家。

在没有人类的情况下，生物群持续进化了大约35亿年。人类（至少从原始人开始）在400万年前出现。在这400万年里，大多数时间生物群未受人类影响而继续进化，因为人类主要集中在非洲等有限的生物圈范围内。与其他灵长类相比，当时人类数量极少但技术较为优越，只不过是众多物种之一。接着在约50万年前人类学会用火，对植物与动物的影响力也因此大为增加。这也有助于人类移居到非洲与欧亚大陆各地。大约3万～4万年前，人类发展出工具，沟通方式也可能在这个阶段出现（人类开始有语言的时间仍不明确），也开始形成更为强大的社会组织。从这个分野开始，人类成为一种对其他生物具有危险性的无赖灵长类，对共同进化（coevolution）具有不成比例的超高影响力。一万年前人类开始驯化动植物，改变生物群的能力更上一层楼。这使得我们能以更快的速度扩张人口，分工更细，技术也进步更快，这反过来也加速了驯化，形成一个引领了未来人类历史方向与特色的反馈回路。

到了20世纪，人类的数量优势、高耗能科技，以及精细分工下的交换经济体制，让我们有能力全面改变所有生态系统。有些地方生态极少受影响，例如海底喷口（seafloor vent）。但大部分的生物圈中，共同进化还是败给了“非自然”选择的过程，生存与繁殖的概率主要取决于是否

与人类兼容。[1]在这种新机制下，与人类共生的生物就能大量繁殖，包括符合人类需求与适应人类驯养的生物（牛、稻米及桉树），以及在人类改变生物圈的过程中找到自身利基的生物（老鼠、杂草与结核杆菌）。对人类有用但无法驯化的物种（美洲野牛与蓝鲸），还有无法适应人类主宰下的生物圈的物种（大猩猩与天花病毒），不是面临绝种就是只能勉强苟活。在20世纪，我们正如许多文化长期以来所想象的，成了生物圈的主宰。

本章与下一章的主题，就是与人类共生的选择过程。共同的主题就是20世纪人类对生物圈带来冲击的严重程度，科学、科技与运输在这股冲击中的显著地位，以及这股冲击往往是不经意造成的。马克思对人类历史的看法没错：人类造就了自己的生物圈，结果却未能如己所愿。

微生物群：生物圈最早的主宰

微生物主宰生物圈达20亿年之久，帮助地球形成气候、地质与所有的生命。由于微生物在数量上轻易就能击败所有生命形态，甚至超越昆虫，因此我们可以说地球上的生命是相当民主的。随着智人（Homo sapiens）崛起，微生物的主宰地位不再。我们策划了一场生物政变，自1880年起逐渐消灭部分旧有的主宰。但就像大部分政变一样，后果往往令人惊讶，新的机制也相当不稳。人类与微生物之间的平衡，在20世纪可谓动荡不安，一部分是因为人类有意识地对疾病与害虫发动攻击，一部分则是大规模社会与生态变迁下的副作用。

微生物形态数量之多令人眼花缭乱。从人类的观点来看，有些微生物其实相当有用：如果没有消化道中数百万细菌的帮助，就无法消化食物。少部分微生物会让有益于人类的动植物生病，因而干扰了人类的企图与欲望。我接下来要讲的就是这些微生物。[2]

数千年以来人类一直努力预防并治疗疾病，但在1880年以前，这些行为只能偶尔影响人类社会与微生物之间的平衡。[3]1880年之后，由于路易·巴斯德（Louis Pasteur，1822—1895年）、罗伯特·科赫（Robert Koch，1843—1910年）等科学家的努力，解开了微生物与昆虫在疾病传播中所扮演角色的谜题，医生与公共卫生官员才有足够知识来进行根本性的改变。人类越了解微生物，就越容易消灭它们。

有了微生物学刚起步的知识作为后盾，再加上进步的观念激励，医疗卫生官员开始多方下手对疾病发动攻势。这股风潮始于西欧与美国。19世纪科学知识正快速扩散，对于进步的信仰更是大行其道，认为疾病管制不但可行，甚至是种义务。两股风潮也形成强大的挑战。快速工业化与都市化造成人口密集，欧美城市又有众多人口营养不良，很容易散布疾病。除此之外，1880年起帝国主义开始盛行，在亚洲与非洲的军事行动与占领，让欧洲士兵身陷疟疾、黄热病等可怕传染病的势力范围。这些挑战都让对疾病宣战这件事显得特别紧急，且有助于募集资金与人力。这引发了三种主要的响应：环境控制（在此指卫生、昆虫、壁虱与鼠类的控制）及其他让人类环境较不适合病原体生存的措施；抗生素的发现与生产；还有疫苗与免疫学。有了这些科学发现，1880—1960年人类可以对病原体先发制人，大幅降低人类疾病的负担，带动人口快速增长，并从根本上改变了人类与微生物的状态。[4]

1830年之后的环境疾病控制　调整人类生态与行为以遏制疾病传播的公共卫生措施，在1850年后逐渐普及并系统化，最早则从欧洲西北部开始实施。医生与社会改革分子带头做起，还有政府、军队与慈善组织的共襄盛举。这股风潮最主要的成就是水源更为清洁（第4章已讨论过），居住环境也大为改善，并且实施昆虫控制。

1832年后在欧洲与北美城市引发恐慌的霍乱疫情，让公共卫生主管机关组织了起来。霍乱在印度存在已久，但因运输发达与人类迁居频繁（尤其是士兵），终于造成19世纪初的大流行，全球死亡人数达数百万。在欧洲，霍乱与其他灾害让政府有所行动。主管机关逐渐开始改善城市卫生状况，以遏止传染病的肆虐，尤其是霍乱、斑疹伤寒与肺结核。与此同时，埃及的穆罕默德·阿里（第5章提过在尼罗河上兴建水坝者）等伊斯兰政府也采取行动，打击霍乱这种在1831年后经常暴发在麦加朝圣者身上的疾病。到了1890年，埃及针对到麦加朝圣一事进行医疗规范。到了1920年，通过改善居住环境（肺结核）、水源（霍乱与痢疾）或港口检疫便能控制的疾病，都已经大幅减少，而且不限于欧美地区，在孟加拉、阿根廷、日本等每个实施公共卫生措施的地方都已见效。[5]

19世纪末的帝国主义，对致病有机体的环境控制来说是严峻的挑战。凭借着拥挤又不健康的工业城市中大量的机械与财富，西欧及后来的美国与日本，到1900年已创造出跨越全球的殖民帝国。打造帝国的过程中士兵必须在世界各地迁徙，结果带来了更多的矿场、耕地与税金，

但也造成难民与劳工四处奔波。迁移与入侵，经常让人类暴露在微生物的伤害之下。

19世纪大规模且长途的劳工迁徙，带来了新的疾病机制。奴隶贸易时代，特别是大西洋奴隶贸易时代（1500—1850年），有助于全球疾病的散播。随着奴隶贸易与奴隶制度受到压制，1850年后有数千万契约劳工在非洲、亚洲、大西洋与加勒比海各地农场与矿场之间迁徙。就像之前的奴隶，他们身上带着过去感染的病菌，旅程结束到达新地方后又会遇到新的病菌。这种人类与微生物迁徙的循环，让许多人面临更高的致病风险。[6]农民从莫桑比克移居到南非矿场，美拉尼西亚人到澳大利亚的甘蔗田工作，还有在特立尼达工作的印度人，都面临了相当不利的外国疾病环境。帝国主义也让世界各地城市的接触更为频繁，并带动都市化，其中又以亚历山大港或德班之类的港口城市为最。上述所有趋势都会促成流行病，让数百万人暴露在前所未见的新疾病之下，制造了容易散布感染的社会条件。许多亚洲人与非洲人付出生命代价。还有从西非到中南半岛的欧洲士兵与移民，医学界后来针对他们的困境，做出了有效的响应。

从19世纪80年代起，研究人员逐渐发现疟疾、黄热病等干扰帝国发展的致命疾病的传播循环（transmission cycle）。科学家确立蚊虫为主要疾病带菌者后，很快便发明各种因应措施，以捕蚊、湿地排水等方式来限制传染的流通。在荷兰、法国与英国医生的努力下，1890年后热带亚洲与非洲对欧洲人来说已更为安全。[7]1898年后美国医生也让古巴与菲律宾更为安全，那一年美国从西班牙手中取得这两处领土，又在1904年拿下巴拿马运河区。他们感兴趣的并不是保护这些热带地区的当地人口，而是因为帝国主义快速扩张（尤其是在非洲），欧洲国家必须针对自身利益受威胁而开始干预卫生事务，有时除了欧洲人，也会针对当地人口打击传染病。1900年之后热带疾病致死人数大幅减少（1925年后热带非洲亦然），但主要还是针对白种人口，减少的原因则是干预疾病传播循环。[8]

殖民主管机关并不是唯一致力于改善人民健康的机构。在20世纪初，私人慈善事业也在改变人类与病原体之间的关系上扮演了重要角色。举例来说，1908年起洛克菲勒研究所（Rockefeller Institute）的卫生委员会（Sanitary Commission）便投入大笔资金，在美国南方发起消灭血吸虫活动。好几代以来，美国南方有大批人口因血吸虫造成缺铁性贫血。身为浸信会基督徒的石油大亨约翰·洛克菲勒（John D.Rockefeller，

1839—1937年）对美国南方数百万名浸信会教友的健康特别感兴趣。20世纪20年代，洛克菲勒的属下与联合水果公司（United Fruit Company）合作，将打击血吸虫的行动带到中美洲，因为当地劳动力受钩虫影响而大减。洛克菲勒的医疗慈善事业很快就扩及墨西哥，因为他旗下标准石油（Standard Oil）拥有股份的墨西哥沿海油田，暴发了黄热病。疫情在1920—1923年终于根除。这项计划与类似的行动，改善了巴西、西非、锡兰、中国等地数百万人的健康，但它们也让殖民地与帝国主义付出了代价。[9]

不论在温带或热带，病原体历史这一大改变，其中一大特色就是军医所扮演的重要角色。[10]在陌生环境中聚集大量的人，向来都会招致疾病。直到20世纪，由传染病所杀死的士兵，向来超过战斗死亡人数。1880年后欧洲军队终于得以降低热带疾病死亡人数，在热带推行帝国主义因而变得可行。但做法最为系统的是日本军队，在1904—1905年日俄战争期间，以各种疫苗保护了自身的战斗力，这是第一场战斗死亡人数超过疾病致死案例的战争。[11]第一次世界大战拖延相当久，因此需要有效的军队用药：一直到1905年后，医师们才有能力让大批军队维持健康状态，好在战场上进行大规模厮杀。

1940年之后的抗生素　公共卫生措施的成功，乃基于20世纪持续进行的环境控制。1940年之后，抗生素成了人类对抗病原体与害虫的另一种武器。自从人类首次用陶罐储存谷物，便偶然地使用了抗生素。2500年前中国人就知道利用发霉的豆腐当作抗生素对抗感染。但当时没人知道微生物之间的相互作用，直到1877年巴斯德与朱伯特（J.F.Joubert）注意到特定细菌能杀死炭疽菌。[12]后来发现，有些土壤内的细菌也能当作抗生素。[13]

抗生素药物的系统化发展，其实可追溯至1928年。当时亚历山大·弗莱明（Alexander Fleming，1881—1955年）离开他位于伦敦一家医院的实验室去度周末。后来回到实验室，他发现葡萄球菌在有绿色霉菌的状况下无法生长。他并未把这有盖培养皿当作已受污染而丢弃，而是加以研究，然后在1929年出版观察结果，并将这关键性的药剂命名为青霉素（penicillin，即青霉素）。这种药剂很难大量制造，最后弗莱明只好放弃。但到了1940年，牛津科学家接手了青霉素的研究，其中澳大利亚籍的霍华德·弗洛里（Howard Florey，1898—1968年）后来到了美国，对当地医疗黄金年代的打开带来极大的帮助。弗洛里与同僚想出了如何有效使用青霉素的方法，起初使用伊利诺伊伊州佩欧瑞亚（Peoria）的

啤酒桶来培养。他的研究很快就引起美国制药业的兴趣。美国军队也看到了青霉素应用的前景，到1943年已广泛运用，进而大幅降低开放性伤口的感染。很快地，青霉素及其他抗生素（其中许多均源自土壤微生物）证实对于各种细菌感染相当有效，包括肺炎、白喉、梅毒、坏疽、嵴髓膜炎、肺结核以及某些痢疾。到1990年已发现大约2.5万种抗生素，能缩减微生物寿命，改善人类与动物的健康。

1897年之后的疫苗　抗生素并不能针对病毒提供防护，但疫苗就可以。就像抗生素一样，疫苗也是古代就有（接种），但在20世纪之前都效果不大。天花接种在中东与中国已存在数世纪之久，在欧洲则始于1721年，不过它的原理一直都是个谜，直到19世纪80年代初期巴斯德、科赫及其他微生物学家，发现了免疫系统运作的方式。接着科学家便开始寻找有用疫苗，相关实验经常有极大风险。[14]伤寒疫苗出现在1897年，到1915年已成为英国军队例行注射的疫苗。接着在1921年出现了效力有限的肺结核疫苗。破伤风疫苗在19世纪90年代便有初步成果，到20世纪30年代已成为相当有效的防护。有效的白喉疫苗则于1923年问世。随着20世纪30年代电子显微镜的发明，病毒的研究更为容易，免疫学的发展也大幅迈进。1937年出现了对抗黄热病的疫苗，1945年有了流行性感冒疫苗，1954年是小儿麻痹疫苗，1962年则是麻疹疫苗。在实施疫苗注射的地方，上述疾病不再威胁生命。在美国这股趋势则主要出现于1945—1963年，正好为美国历史上人口最多的一代人提供了防护。

在环境疾病控制、抗生素与疫苗的结合之下，流行病学出现了部分转变，那就是传染病在人类死亡原因的排名下滑，而由癌症、心脏疾病等非传染性疾病取代。这些病症通常降临在老人身上，因此1920—1990年，全球人口平均寿命增加了约20岁。[15]这股流行病学的转变让人的寿命更长、更健康、更富足，且更可预期。

社会条件与人类/微生物之间的关系　社会条件决定了公共卫生措施奏效的程度。秩序良好的社会最能够控制传染病。苏联的历史就是个很好的例子。在战争与革命的压力下，脆弱的俄国公共卫生系统终于在1915—1922年崩解。[16]数百万人死于霍乱、斑疹伤寒与伤寒。1919年斑疹伤寒暴发大流行期间，列宁向布尔什维克党大会表示，社会主义不是打败斑疹伤寒就是被它打败。最后结果一直混沌不明，直到1923年后苏联组建公共卫生服务机构，开始系统化地推动疫苗接种与环境疾病控制。到了1930年，斑疹伤寒、痢疾、疟疾与其他致命传染病，都因为苏联自发性致力于成为一个“卫生国家”而退下阵来。[17]由于苏联强调预防

医学，因此直到20世纪70年代，苏联境内疾病的传播也逐渐受到控制。

1880年后公共卫生大获成功，也影响了人类政治。在过去，因为历经传染病而增强免疫力的人口，在与其他社会的关系方面享有较大的竞争优势，最明显的例子就是欧洲人征服美洲的过程中，在1492年哥伦布出航之后的150年间，美国印第安人口减少了80%～90%。1880年之后，有能力执行公共卫生计划的社会，便享有竞争优势。它们的军队更能在战斗中存活，劳工也能健康地劳动。当然，组织良好的社会本来就比组织不良的社会享有更多优势。1880年之后的医药变革更加深了这种优势，并拉大社会中财富与权势的差距。

环境疾病控制、抗生素与疫苗的综合效应，似乎预告了人类将在对抗传染病的战争中大获全胜。在1948年，美国国务卿乔治·马歇尔（George Marshall）预言传染病即将灭绝。1967年美国公共卫生署长（U.S.Surgeon General）向国会表示，“是传染病就此成为历史的时候了”。[18]

1948年由联合国创始的世界卫生组织，也锁定几种疾病，计划使其绝迹。经过10年奋斗后的确让天花成为历史。天花这种人类疾病已有5000年历史，在20世纪夺走了大约3亿人的性命后，终于在1977年于索马里绝迹。直到1978年英国伯明翰才又出现死亡病例，当时病毒从研究实验室的风管逸出，害死一名科学家后，实验室主任也自杀身亡。世界卫生组织在1980年宣布天花已在全球绝迹，但在亚特兰大与西伯利亚城市科尔特索沃（Koltsovo）实验室的冰箱中仍留有病毒样本。对抗天花的行动可能是第一次刻意造成的物种灭绝，也是世界卫生组织的一大成就。[19]其他传染病不是被消灭就是被边缘化。但这段黄金时期并未持久。

1946年后的微生物抗战　1945年弗莱明便警告，使用青霉素很快就会导致具抗药性的葡萄球菌。确实，1946年伦敦医院便出现了抗药性菌株，扩散到每个使用青霉素的地方。这些菌株通常都能以其他抗生素杀死，但到20世纪70年代却出现了多重抗药性（multipledrug-resistant，MDR）细菌。因此，肺结核、霍乱与无数其他传染病无药可医的菌株，开始威胁人类健康。

进化不可避免地导致多重抗药性细菌崛起，而人类的弱点让这一天提早到来。[20]针对抗药性菌株使用抗生素以及使用不当，使这一切提前发生。弗莱明认为，因为任何人都能轻易服用口服抗生素，所以比较危

险，而静脉注射抗生素却需要医务人员执行。在美国，20世纪50年代中期之前，可在任何药房购得非处方抗生素，世界上许多地方直到20世纪90年代都可轻易买到。总之，医生也常抵不过没耐性病人的要求，而随意地开立抗生素处方。其他人也是这样。1981年，印度尼西亚宗教部发放四环素给10万名即将前往麦加朝觐的朝圣者，希望协助他们抵抗霍乱，但这个过程却加速了对四环素具抗药性细菌的进化。20世纪50年代初期后，美国畜牧业给牛群与猪群喂食大量抗生素，以维持牲畜健康，让战后美国可能面临流行病风险的饲育场动物快快长大。[21]

这些做法代表一种微生物的“公共物品悲剧”（tragedy of the commons）。随意使用抗生素对医生、病人与牧场主人来说相当方便，因为它们便宜、使用方便且效果迅速，对个人来说相当有好处。但它的代价却出现在未来，由所有社会共同担负且无法避免：对个人的约束，充其量只是暂时延后其结果罢了。

传染病卷土重来　微生物传染疾病终于反扑。无药可救的肺结核菌株，首先于1977年出现于南非，到了1985年已成为19世纪中期以来美国肺结核病例首度上扬的背后推手。20世纪80年代起，多重抗药性肺结核在医院中流行起来，并出现在监狱及流浪汉收容所等其他场所，因为这些地方的拥挤等特性有助于疾病传播。20世纪90年代美国大约70%患这种病症的人都会死亡。1997年全球约有5000万人患多重抗药性肺结核，感染率以东南亚最高。会危害免疫系统的人类免疫缺陷病毒（human immunodeficiency virus，HIV）崛起后，也助长肺结核东山再起。1985年后美国的肺结核疫情，约有半数是因为HIV而起，南非则有大约1/4。1990年初期全球每年约有250万人因肺结核而死亡，而且几乎全发生在贫穷国家。到了1995年这个数字更超过每年300万人，并且持续攀升。[22]

其他传染病也同样具有抗药性。1955年世界卫生组织计划让疟疾从地球上消失。1992年该组织放弃这一计划。世界卫生组织无意中严格筛选出具抗药性的疟疾与疟蚊。世界卫生组织先是依循成功的前例，利用DDT与其他杀虫剂，在1945年后确实大幅降低了感染率。但蚊子对DDT发展出抗药性，疟疾再度肆虐。1977年，印度的疟疾病例约为1960年的60倍。如果社会条件允许系统性使用药物，以氯奎宁（chloroquine）为主的药物仍为突破传播循环提供了一丝希望。但疟疾发展出新的菌株，需要新药才能治愈。接着在20世纪80年代，泰国与柬埔寨边境出现了多重性抗药疟疾（在混乱的社会条件下）。对氯奎宁具有抗药性的疟疾则出现在东非、亚马孙雨林及东南亚，但这些地区的人民几乎都买不起价

钱更贵的替代药品。疟疾再度兴起后，20世纪90年代每年约夺走200万人性命，其中半数来自非洲，而疟疾也因此成为肺结核以外致命率最高的传染病。受此病之苦的人数大约在250万～300万人。[23]

到了20世纪80年代末期，肺炎、一种痢疾［志贺式菌杆菌属（shigella）］及其他几种疾病也发展出多重抗药性菌株。霍乱在1992年发展出多重抗药性形式，显然是因为孟加拉国沿岸暴发藻华所致。[24]

抗药性传染病与疾病带菌者的进化，让医药界的黄金时期就此结束，研究人员也陷入与致命细菌永无止境的缠斗。[25]限制20世纪传染病对人类事务影响力的这场流行病学转向，也因此而停顿，甚至反转。[26]

社会条件与传染病的再度肆虐　在许多社会中，公共卫生系统的恶化使得抗药性微生物与蚊虫的进化结合。这发生在1970年之后的苏联。勃列日涅夫执政期间苏联的士气与经济元气大伤，公共卫生计划也因此受影响。疫苗接种的机制失效，侵蚀了对医疗体制的信任，很快就有大量人口对重大传染病不具抵抗力，造成1989年之后传染病再度肆虐进而逐渐瓦解社会秩序。这使得平均寿命从超过70岁（20世纪60年代中期）降至65岁，到1995年俄罗斯男性更下滑至58岁。[27]美国一些城市也出现类似的恶化趋势，只是规模较小，因为1975年以后公共卫生计划衰退，像芝加哥与纽约的肺结核治愈率，竟比莫桑比克与马拉维还低很多。[28]

在那些采用了免疫学、环境疾病控制与抗生素等基本原则的地方，情况便大不相同，但在世界上许多地区，1950年之前的政治与社会条件延迟了这些原则的实施。1910—1949年，历经革命、军事入侵与内战的中国停止公共卫生计划的推行。但1950年后，毛泽东领导下相对稳定的局势，使情况大为改善。就像之前的苏联以及后来卡斯特罗领导下的古巴，中国也将人民健康列为优先任务之一，不但是大规模动员的目标之一，也是新政权合理化的原因。毛泽东力劝农民猎杀钉螺以减少血吸虫病，并对蚊子与虱子发动相当于阶级斗争的物种战争。毛泽东还锁定梅毒，认为它是新中国道德上的污点。在毛泽东领导下，中国并未繁荣或完全创建秩序，但创建起的秩序仍足以改变人类与微生物之间的关系，并发动一场健康革命。[29]

就全世界来说，1945年之后因冷战而带来的稳定局势与经济繁荣，让微生物学的果实得以丰收，人类的生活比以前更为健康、快乐，人口数也更多。1950—1990年，是全球史上特别平静、有秩序且繁荣的一段时间，要成功推动公共卫生计划下复杂的行政，这是难得的恰当时机。

在战争与动荡时期，就连疫苗接种、抗生素或环境疾病控制都无法创造奇迹：人类遏止微生物病原体的行动仍然不稳定，极度仰赖公共秩序与稳定的国际体制。

人类与微生物关系的意外转变[30] 我们越来越无法确定，人类对抗传染病的战争是否已取胜，因为尽管赢了，但大规模的改变却也创造出有利于疾病传播的条件。20世纪的历史中有几个基本特质与此有关，特别是灌溉的普及、运输的速度加快、人类对热带生态系统的破坏、人类与动物之间关系的改变，以及大城市的扩张。

灌溉与疾病 20世纪灌溉面积扩大将近5倍，到1990年覆盖面积相当于苏丹，或为美国得克萨斯州的4倍（请见第5章）。这成了特定疾病带菌者的温床，特别是钉螺与蚊子。所有热带疾病都是广义的水源传染病，其中有几种都借着灌溉大行其道。[31]

埃及的例子便突显出灌溉引发的流行病风险。[32]1902年以后灌溉在埃及大幅扩张，经由水源传染的疾病，特别是借由钉螺传染的血吸虫病也随之散播。1934年阿斯旺水坝加高后，农田灌溉历经了改善与扩张。1942年德国军队从西部入侵，携带原热带疟疾（falciparum malaria）这种最为致命的疟疾的蚊子则从南部入侵，并在新的灌溉机制下大肆发展，夺走大约13万名埃及人的性命。1944—1995年，洛克菲勒基金会的势力扑灭了入侵的蚊虫。后来，埃及与各国政府大刀阔斧进行传染病控制，但灌溉水源严重停滞，限制了相关行动的效果。除了有组织的富裕社会，几乎所有灌溉扩张的地区都会发生同样状况。[33]

运输系统 交通运输更为快速，也不知不觉为疾病传播提供了一条有效的途径，有助于维持并散播传染病。在1850年以前，跨越大西洋或太平洋得花上好几个星期，因而限制了某些带菌者与病原体的散播，但到了1910年只需数天，到1960年只需几小时。人们不自觉地传递了他们体内孕育的疾病，而且因为运输时间缩短，蚊子、虱子与其他带菌者也更容易存活。举例来说，1930年特强疟蚊［冈比亚疟蚊（Anopheles gambiae）］经由飞机由西非传入巴西。自16世纪起，由其他蚊虫带原的疟疾便肆虐美洲地区。但因为它们叮咬其他动物的机会高出人类，它们在人类间散布疟疾的速度并不如喜食人血的新品种疟蚊。新带菌者的入侵造成2万人死亡，是巴西史上最严重的疟疾疫情。这促使洛克菲勒研究所在1938—1939年大举喷洒杀虫剂，成功地扑灭了冈比亚疟蚊在美洲的立足点。[34]20世纪有更多人与货物在世界各地流动，加速了微生物的传播。20世纪初，第一次世界大战让数千万人四处迁移，让疾病有机

会快速散播。第一次世界大战结束后军队移防，造成了1918—1919年的全球流感疫情，数月间便有约3000万人死亡。但到了20世纪90年代，一般的旅游活动让传染病更有机会散布：每年约有5亿人跨国旅行。[35]除了少数特例，公共卫生服务单位都成功地解决了这前所未有的挑战。[36]如果不是这样，近代历史将会有相当不同的面貌。

热带地区的破坏　人类居住在热带的历史已有许多个世纪，但直到最近当地人口数量都不多，经济较为疲弱，科技也较为落后。那里特有的恶疾让陌生人无法靠近，当地居民则已发展出部分抵抗力。但在19世纪末，有越来越多的热带地区与广大的外界产生联结；货物与人员以前所未见的形式流通，并在殖民帝国的推动下形成了一场全面性的微生物互换。由于新几内亚、亚马孙雨林及非洲中部等地不再遗世独立，这场互换在20世纪加快了脚步。

例如在非洲东部与中部，1880—1930年政局变化风起云涌，使当地居民、土耳其裔埃及人、非洲裔阿拉伯人以及欧洲商人、国王、帕夏与总督的财富与权力重新洗牌。奴隶、橡胶与象牙的贸易大为兴盛。非洲的农庄及全新的政治经济形态崛起，人类迁徙日增，野生动物数量也变得不稳定。由于鼓励设置农场的措施增加，某些地方的森林与树丛面积缩水。但在饥荒与牛瘟（rinderpest，一种牛的疾病）造成人口与牛群数量减少，还有象牙盗猎者几乎杀光所有大象（因为象群能控制木本植物数量）的地方，森林与树丛的面积则会扩大。这些干扰破坏了过去人类、动物、采采蝇［tsetse fly，属于舌蝇属（Glossina）］与锥体虫［trypanosomes，会引发锥虫病（trypanosomiasis），使人昏昏欲睡］之间的关系。这些变化改变了当地土地管理习俗，这些习俗乃是非洲人借由痛苦经验学习而得，将锥虫病代价降至最低。

例如在坦桑尼亚东北部，1890年前旧社会网络让许多人撑过干旱与饥荒，但在德国的殖民管控下却遭到破坏。德国人破坏了富有阶级的地位，他们也不再于干旱时期救济穷人（以换取他们的臣服）。饥饿的人们只得逃亡，剩余人口不足以维持燃烧森林的农耕方式，以限制采采蝇数量。锥虫病因此大行其道，夺走牛群与人类性命。1890—1940年，殖民政策带来的社会变迁，也不知不觉地造成了生态后果，并回过头来影响了社会，让坦桑尼亚东北部的人更穷、健康更差。[37]

通过类似一连串事件，长期在热带非洲许多地方流行的昏睡症，也转移到新的领土与人口。在乌干达（1900—1905年）等地，严重疫情造成25万人死亡，非洲中部总人口因此比19世纪80年代还少，而这股趋势

至少持续到1925年。许多非洲人开始有了根深蒂固的观念，认为殖民主义就是一种生态战争，20世纪80年代这种观念又因艾滋病开始肆虐非洲中部与东部而再度兴起。殖民当局把昏睡症当作加强管制非洲生活方式的理由，因为这种疾病似乎是可以消灭的，只要非洲人愿意改变他们耕种、季节性迁移与管理牲畜的方式。在英属的非洲东部，有些非洲人必须用土地跟屯垦者交换以控制采采蝇。1885年后欧洲人“瓜分非洲”（scramble for Africa）的行动，破坏了非洲的生态、经济与健康，并且在政治与生态趋势的相互作用下加速破坏。[38]

随后所造成的热带生态破坏，也将其他传染病释放到人类身上。出血性登革热首先在20世纪40年代出现于东南亚。拉萨热（lassa fever）于1969年首度出现在尼日尔利亚，致死率极高的马堡病毒（Marburg virus）于1967年出现在非洲中部，1976年扎伊尔则有埃博拉病毒的相关记录。1997年在全球杀死大约230万人且名列全球第五大死因的艾滋病，很显然也是肇因于人类开始在热带森林活动。它可能源自非洲黑猩猩，在1959年后不久便转移到人类宿主身上。自此之后，病毒在非洲中部缓慢地传播，直到20世纪70年代末因为安哥拉战事扩大、难民迁徙以及劳工移往非洲南部，病毒才开始突破重围。20世纪80年代初期艾滋病毒已出现在美国，并很快成为国际性的威胁。然而它仍以非洲为中心。1998年全球4700万带原者当中，有2/3是非洲人，1978—1998年因艾滋病而死亡的1400万人也多为非洲人。[39]

东山再起的疟疾开始具有抗药性，而且还从人类的动乱中获得动力。1970年之后，巴西政府在亚马孙雨林建造了道路网，将大批伐木工与矿工还有农民送进雨林。这些移民通常对疟疾不具抵抗力，而且穷得买不起抗疟疾药物，因此成了疟蚊的新目标。巴西与所有温暖地区的灌溉计划，都增加并改善了蚊虫的温床，助长了各种由蚊虫所传染的疾病。

人类与动物　许多人类的疾病源于动物传染病。数千年以来，人与动物的接触造就了人类疾病的历史。20世纪出现了新的接触管道。人类涌入热带而得以接触更多物种。除此之外，一般家畜数量也远超过以往，“人类亲和型”动物（synanthrope，指老鼠与海鸥等与人类住在一起但并未驯化的动物）也大幅增加。当然人类数量也较以往更多。在20世纪90年代，虽然人类密切接触家畜的比例较100年或200年前更低，但与人类有所接触的动物数量与物种数量都增加了，可能的病原体也因此增加。随着人类与动物之间的关系改变，传染病在物种之间转移的机会也

就因此增加了。

这种转变的例子之一，就是我们在不知不觉中助长了老鼠的生长。它们吃掉了全球大约1/5的谷物收成量。人类大量储存与运送食物、拥挤的城市环境，还有人类猎杀狐狸等老鼠的天敌，使得这个世界对老鼠一族来说更为安全。如此一来这世界就更适合老鼠带原病毒生存，而其中有好几种都会传染给人类。因为上述变化，1950年后有更多的人与鼠比邻而居。1970年后有好几次大规模病毒暴发都源自老鼠。[40]

近几个世纪流行感冒大行其道，也可能是越来越多鸭子、家猪与人模拟邻而居（主要发生在中国）的结果。大部分的流感疫情均源于中国，尽管1918年那次是出自一支驻扎在美国堪萨斯州的军队。猪的功能相当于“混合器”，让鸟类与人类流感病毒交换基因，偶尔便会产生足以引爆疫情的新菌株。[41]

人类对动物的利用常给动物带来浩劫，有时人类也尝到苦果。1889年意大利军队在索马里征战期间，引进了带有牛瘟病毒的牛。这对非洲来说是全新的病毒，具有高度传染性。东非地区易受感染动物在密度与流动性方面的特质，在19世纪90年代引发了有史以来最严重的家畜流行病。数百万头牛死亡，另有几百万只水牛、羚羊、长颈鹿及其他反刍动物丧生。赞比西河以南可能有90%的食草动物死亡。非洲东部与东南部畜养牛群死亡率也差不多。非洲东部与南部放牧经济的基础就此消失，造成饥荒、暴动，人民绝望之余开始迁徙，还造成宗教信仰活动的复兴，也有很多人突然改信基督教或伊斯兰教。例如在马扎伊尔人当中，就大约有2/3的人死亡。人类与动物同居方式的改变，大大影响了20世纪人类与动物疾病的经验。人类共同居住的形式也带来了很大的影响。[42]

都市化　最后，城市化与人口增长也为主宰人类与微生物关系的环境，带来了全面性的改变。许多传染病都需要最低限度的宿主数量才能持续散播。需要许多不具免疫力的血液聚集，才能维持感染循环，通常这代表了聚集众多新生婴儿，有时城市便可提供这样的条件。在乡村，传染病往往在用完感染的宿主后，便自行销声匿迹。因此，城市的环境比乡村更适合传染病。在20世纪，城市的数量与规模在抗生素、疫苗接种与环境疾病控制的协助下大幅增长。但同时城市也提供适合多种病原体生长的条件，例如有些环境就更适合肺结核与伤寒。[43]20世纪人类数量增加4倍，让病原体有更多机会入侵人体。的确，从病原体的角度来说，城市化与人口增长这两个过程制造了绝佳的机会，但在它们全面攻

占之前，可能还需要社会秩序与公共卫生设施瓦解的条件配合。

在1975年以后兴起的30多种传染病中，几乎没有一种是全新病症：只是人类或特定族群不知道它们的存在罢了。[44]人类入侵热带生态系统，与动物接触日增，还有交通运输方面的进步，这一切都使微生物能通过更多方式传递到人体内。

大规模的生态变化，总是会为微生物交流创造出新的路径。率先以牛痘接种预防天花的爱德华·詹纳（Edward Jenner）曾在1798年写道："人类偏离自然原先所设定的状态，似乎已证实成为各种疾病的来源。"[45]在20世纪，这种偏离来得特别多又突然。肥料与杀虫剂为土壤细菌创造了一个美丽新世界。海口与水道的污染迫使其中的细菌与病毒走上新的进化方向。1980年以后全球变暖也扩大了蚊虫与其他疾病带菌者的活动范围。这诸多因素再加上灌溉、运输、热带地区的破坏、人与动物接触的新管道以及城市化，都让情况更加恶化。

这些转变加在一起，便形成了一项可怕的挑战。人类与微生物的关系出现根本性的变化，而且从人类的观点来看，20世纪的变化是相当有利于人类的。但这个新机制具有临时而不稳定的特性，受制于社会秩序而且可能进一步产生变化。由人类社会、动物、植物、携带者与微生物所组成的大规模生态系统，未来仍将不受任何限制，持续以非常复杂的方式共同进化：如果没有意外发生，那才令人感到奇怪。[46]

土地的利用与农业

现代农业的扩张是20世纪地球植被剧烈改变的主要推动力。在此我将概述植被与土地利用的历史，然后再仔细检视农业的革命。这些因素就跟我们对病原微生物的控制一样，给人类现状带来了根本性的改变。

20世纪植被的主要趋势，就是人类增加了对它的管理与挪用。在20世纪末，全世界约有1/3的植被地区种植驯化植物（domesticated plants）——农作物与牧草，约为1900年的两倍。全球约有35%～40%的生物产量用以供应人类所需。[47]这代表了这股跟农业一样古老且在1346—1352年欧洲黑死病大流行后从未遭遇重大阻碍的趋势，正在加速发展当中。

令人遗憾的是，土地利用与土地覆盖普遍已经到了极限。[48]地表约有30%的面积（1.33亿平方千米）为没有冰层或沙漠覆盖的土地。在这当中，不超过1/4（2600万～3000万平方千米）能够进行耕作。其中又只有1/4（约等于澳大利亚面积）在1900年前有人类耕作；到了1995年已接近俄罗斯或南美面积。从表6.1可看出全球土地植被覆盖的变化。[49]

表6.1 1990年以前全球植被覆盖概略进化过程

	土地覆盖类别（百万平方千米）			
年份	森林与林地	草地	牧场	耕地
公元前 8000	65	63	0	0
1700	62	63	5	2.7
…	…	…	…	…
1850	60	60	8	5.4
…	…	…	…	…
1890	58	55	13	7.5
1900	58	54	14	8.0
1910	57	52	15	8.6
1920	57	51	16	9.1
1930	56	49	19	10.0
1940	44	47	21	10.8
1950	44	45	23	11.7
1960	53	41	27	12.8
1970	51	38	30	13.9
1980	51	35	33	15.0
1990	48	36	34	15.2

数据源：Graetz 1994；RIVM 1997：table A22；Richards 1990b；WRI 1996；WRI 1997

注：本表大幅简化了土地覆盖分类并隐藏其间的差异，而且忽略了

（有争议的）沙漠化过程。因为四舍五入，而且并未由冰层覆盖的陆块总面积略有改变，因此总数并不一致。

耕地　　虽然各时期发展不一，但全球耕地的扩张是无可避免的趋势，持续已有一万年之久。因为长期的收成变化相当少见、温和且缓慢，这股全球性的趋势与人口趋势相符。到了1700年，耕地大约占全球土地面积的2%～3%。

1700年之后，随着欧洲海外殖民兴起，耕地扩张的速度加快。屯垦区的疆界扩张到北美、南美、南非、俄国与西伯利亚。农业移植到中国的边境与内陆，特别是在山腰地带。从1830年到1930年，美洲与俄国的屯垦区疆界快速移动，印度北部的速度较慢，因为多半还是受到人口增长影响，不过现在也同样受制于日益一体化的全球谷物市场。到了1930年，全球耕地达到1700年总面积的4倍。在美洲与欧亚大草原，耕地的扩张（1700—1930年）多半是牺牲了草地。

到了20世纪，在人口增长与国际谷物市场快速崛起的背景下，边陲地带持续转变为耕地。在北美洲，这样的趋势随着20世纪30年代埃布尔达省和平河（Peace River）山谷成为屯垦区而告终，成为加拿大史上最后一个大型农耕地。有时政治野心也会成为助力，像最近一次企图在中纬度扩张农业的行动即为一例。广大的俄罗斯与哈萨克斯坦斯坦大草原，就在赫鲁晓夫的“处女地”计划（Virgin Lands，1954—1960年）下被犁得支离破碎。1960年后，在大草原及中纬度林地新设屯垦区与耕作（这是现代史上最主要的趋势之一）均告停止。

但人类若要喂饱自己，还必须打出两张牌。突破河床的限制进行灌溉（见第5章）以及化学肥料（第1章），大幅提升了作物收成，粉碎了长久以来人口与耕地之间的等式。这两种做法让欧洲（1920年后）、北美（1930年后）与日本（1960年后）得以扩大粮食生产，而且多半只靠提高每英亩产量而非耕作更多的农地。1966年苏联正式宣布实施农业“化学化”，完成了这项转变。[50]

“处女地”计划结束后，20世纪末不断变动的耕地边陲移往热带地区，主要集中在西非（1950年之后）、南非内陆（1960年之后）与印度尼西亚（1970年之后）。耕地也在其他地区扩张——印度、东南亚与伊朗，但速度较慢。到了1960年，热带农业扩张取代了温带。[51]尼日尔利亚伊格博族（Igbo）种植甘薯的农民，等于是加拿大萨斯喀彻温省农民的现代翻版。这些新的屯垦区边境往往吃掉了热带森林，对生物多样

性、全球碳循环，以及人类与微生物之间的关系都造成影响，且程度超过先前在温带森林或草地的屯垦区边境。它们甚至可能是这股为期一万年趋势的最终阶段。

在20世纪80年代，全球耕地增长的速度减缓。在欧洲与北美，耕地面积持续缩小。这股趋势扩散到俄罗斯与哈萨克斯坦斯坦，到了1997年，被“处女地”计划改为耕地的草地已有1/4遭放弃。根据官方数字，1972—1989年非洲耕地面积下滑。[52]全球各地农民，以更快的速度放弃那些退化、遭到侵蚀及沙漠化的土地。只要是推行都市化与郊区化的地区，城市也开始占用农地，只是规模较小。1978—1992年中国追求城市化与工业化，因此占用了该国大约6%的耕地。由于以上诸多原因，20世纪90年代中期全球土地开始快速脱离农业。[53]这股发生在1985年之后的趋势是否就是未来潮流，抑或只是暂时偏离，仍待未来观察。

20世纪在耕地只增加2倍的前提下，人口能增加4倍，主要原因在于农耕生产力增加。这结合了好几个元素，其中最显著者包括化学肥料与杀虫剂、灌溉、农业机械与作物育种。前面已经讨论过肥料与灌溉。在此我将讨论农业机械化以及作物育种这种绿色革命，而这两者就像肥料与灌溉一样，为农业生态系统、其他生态系统及社会带来了重大的改变。

在1900年，全球农耕大抵遵循着与1000年前相同的基本程序。农民仍然使用动物或人类肌力来进行大多数的农活；使用的肥料是粪便、作物残株及其他在当地采集的有机物质；投入的采购不多；借由轮作与休耕来控制害虫；鲜少种植单一作物；不论是稻米、小麦、玉米、木薯或小米，每公顷产量通常不超过1～2吨。大约有70%～90%的人以这种低技术、劳动密集的方式耕作。[54]

到了20世纪90年代，欧洲、北美、日本、澳大利亚、新西兰等地的农民，不到其他地方人口的10%，却彻底改变了农业与农业生态系统。他们大量使用化石燃料；以化学品控制害虫；通常种植单一作物；许多投入都自工厂采购；每公顷产量在4吨以上。这导致了现代农业与工业的革命。这还仰赖主要由北美开发出来的省力装置，也就是机械，因为当地土地便宜但人工昂贵。此外，还得靠其他地方开发出来的作物育种、肥料、杀虫剂等节省土地技术。最剧烈的变化发生在1945年之后，但更早之前便已经开始酝酿。

机械化　农场机械化始于用马拉动脱谷机与收割机，这种技术在19

世纪30年代发明，南北战争期间（1861—1865年）由于劳动力短缺而在美国普及。以蒸汽机发动的脱谷机，英国与美国早在19世纪50年代便已开始使用，但购买者并不多。蒸汽机因为体积太大无法在田里顺利移动。1892年以汽油为动力的拖拉机问世。因为劳工成本与农场规模较大，美国率先采用拖拉机。加油站、修理厂与技工日渐增加，提供农民必要的支持系统。1920—1955年，美国逐渐改用拖拉机。这引发苏联仿效，20世纪30年代甚至掀起一阵拖拉机热潮，有些狂热的父母甚至以拖拉机为孩子命名。政府热衷于拖拉机与集体化的要求有关，因为田地较大且产量规模提升。[55]表6.2便描述了美国与苏联采用拖拉机的历史。直到1950年以后，拖拉机的神奇力量才传至英国与欧洲，不过在日本却因为空间有限而未能普及。[56]1970年后巴西大量使用拖拉机，但在全球大多数地区，低劳动成本让拖拉机与机械化难以施展。[57]在富有国家，工业方法、效率与投入主宰了农业的每个方面，即使是荷兰的郁金香种植亦然。到了1980年，每名美国农民约可喂饱80人，每名澳大利亚农民可喂饱的人数更多。[58]

表6.2 美国、苏联与全球拖拉机数量（1920—1990年）

	数量（单位：百万）		
年份	美国	苏联	全球
1920	0.25	0	0.3
1930	1.0	0.05	1.1

续表

	数量（单位：百万）		
年份	美国	苏联	全球
1940	1.6	0.5	3
1950	3.4	0.6	6
1960	4.7	1.3	10
1970	4.6	2.0	16
1980	4.8	2.4	24
1990	4.6	2.7	26

数据源：Stanton 1998；Vasey 1992；Volin 1970

机械化为农业及农业生态带来革命。拖拉机与联合收割机（harvesting combine，20世纪20年代问世）让大型农田更加合理化，因此农民开始拆掉灌木篱墙，以大块农田取代一块块拼凑出的复杂农田。农民逐渐投向机械所能收成的作物。[59]他们越来越专注在单一作物，因为每种作物有自己专属的一套机械，以单作栽培（monoculture）取代了混作。[60]这也代表必须以化学杀虫剂为主的新手段控制昆虫与其他害虫。[61]单作栽培也让特定土壤养分更快衰竭，因此需要更多化学肥料。农场机械的效率，确保农民能够及时完成准备工作，进而大幅提高收成。最后，机械化也代表无须挪用土地来种植耕作动物的食粮，在1920年这部分就占了美国1/4的耕地。

机械化为社会带来了极大的影响。机器取代了农业劳动力，以工业化提供了劳动力。美国农业劳动力在1920年占全体人口的半数，到1990年已骤降至2%～3%。南部乡村的黑人加速迁移至北方城市，这在美国历史上成为一大里程碑，很大部分便是源于20世纪40年代后棉花收成的

机械化。苏联的机械化脚步较为落后，尤其是土豆与水果的收成，因此到20世纪80年代农业人口比重最高可到30%。农场机械化成了现代都市化决定性的推动力。

机械化能达到规模经济，也有助于农场发展。1890—1930年美国农场平均规模变化不大，到1935—1985年则增长3倍。苏联的集体化制度下出现了超大农场。在1940年，集体农场平均面积为1600公顷，到1968年增至1.1万公顷。在1977年，苏联的国家农场平均面积有4万公顷，是美国华盛顿市面积的3倍。这样庞大的面积反映出借着机械化提升劳动生产力，才能实现意识形态承诺。[62]

农场机械化在国际上造成的结果，在整体地缘政治方面影响还算温和，但总是比较有利于谷物生产大国。机械打破了北美及澳大利亚等缺乏农业劳动力地区的生产瓶颈，提升了产量并促进经济繁荣。机械化也帮助那些原本即拥有优势的国家，就是那些具有大型农田、平坦农地及气候适合栽种谷物的国家。对那些必须分割成小块农田的土地、陡坡上的农场，或是收割香蕉，机械化毫无帮助。对于那些缺乏或无力进行机械化基础建设（修理厂、零件、汽油供给系统等）的社会来说，机械化也毫无帮助。总体来说，农场机械化对美国、澳大利亚与加拿大的帮助最大，阿根廷与苏联也获益不少。在大国当中，中国与日本受益最少。不论是就农业生态或国际事务来看，农场机械化有助于筛选出20世纪的赢家，不论是作物、害虫或国家。

绿色革命 绿色革命（Green Revolution）是以作物育种为中心、偏离传统农业的一大重要趋势，而且与机械化不谋而合。20世纪40年代起，绿色革命的技术与管理方式由第一世界出口到第三世界，但直到60年代与70年代才开始造成重大影响。它的特色是新培育出的主要高产作物，主要包括小麦、玉米及稻米，以植物基因学研究作物对化学肥料与灌溉用水的反应、对害虫的抵抗力，最后还得看这些作物是否适合机械收割，才选出这些品种。这需要新的投入、新的管理机制，此外还往往需要新的机械才能成功。矮秆小麦（dwarf wheat）与水稻因此胜出，因为它们能够承载沉重饱满的谷穗而不会弯曲或折断茎部。就像20世纪的大规模政治革命，绿色革命在知识上主要源自西方世界，在其他地区却改变形态，导致出人意料的结果。

矮秆小麦虽然最后是在美国资金与技术下，在墨西哥栽培成功，但其根源却与奥地利教士与日本农学家的发现有密切关联。孟德尔（Gregor Mendel，1822—1884年）的数学遗传学（mathematical

genetics）作品出版后被埋没了数十年，终于在1900年被重新发掘出来。全世界的科学家都注意到这个理论，包括在日本明治公司所赞助的农业研究所里研究水稻与小麦育种的科学家。早在19世纪80年代，日本农林水产省便在这个机构进行作物育种。在土地紧张使农民向外移民和政客成为帝国主义分子时，农林水产省开始找寻适合日本状况的水稻及小麦品种。这里土地稀少，人的排泄物倒是很多。1925年研究终于成功，以日本与美国小麦杂交育种后，培育出一种名为农林10号的半矮秆小麦。1935年农林水产省将这个品种发给农民种植，但在它对日本食物供给产生明显作用之前，第二次世界大战就爆发了。1946年美国军方一位农业学家注意到农林10号，并将之进口到美国，与美国华盛顿州的小麦进一步杂交育种。农林10号并没有解决战前日本的食物供给问题，但终究还是改变了世界。[63]

美国农民与育种专家努力培育杂交玉米，希望培育出产量更高、抗病力更强的品种。伟大的达尔文是最早涉猎杂交育种玉米的人之一，他在1876年便出版研究结果。美国的研究更上一层楼，到1918年已开发出双交种（double-cross），也就是后来杂交玉米的基础。1930年美国只有1%的玉米田种植杂交品种，但此后10年间美国农业部开始转向这种最新的农业福音。到了1939年，有1/6的美国玉米为杂交品种，1950年增加到3/4，到了1970年更超过99%。美国玉米收成也增至20年代的3～4倍。[64]

第一个以杂交玉米在商业上大获成功的农民，是20世纪20年代的亨利·华莱士（Henry Wallace）。[65]华莱士后来成为美国农业部长及小罗斯福时期的副总统。身为成功农场主的他，对拉丁美洲特别有兴趣，喜欢别人叫他“工业化农业之父”。华莱士认为，如果能将现代遗传学的研究成果应用在墨西哥与南方的农业技术上，一定会有很大的商机。他说服洛克菲勒基金会在墨西哥赞助了一所小麦与玉米研究中心（1941—1943年），不久便雇用了同样来自爱荷华的诺尔曼·博洛格（Norman Borlaug，生于1914年）。[66]1944年诺尔曼·博洛格抵达墨西哥时，才刚拿到植物病理学博士学位。到了1953年，他准备结合农林10号与各种墨西哥及美国品种进行育种。几年后他与同事创造出新的小麦品种，证实对高剂量氮有极高的反应，能配合水源供给时间，某些状况下（至少在初期）也对病虫害具有高度抵抗力。

博洛格是墨西哥绿色革命之父。1970年他因为在作物育种方面的成就，荣获诺贝尔和平奖，在墨西哥农作物产量最高的西北部城市埃莫西

约（Hermosillo），还有一条街以他的名字命名。在福特的协助与洛克菲勒出资下，加上联合国粮农组织、美国国际开发署（U.S.Agency for International Development,AID）及其他机构的支持，绿色革命从墨西哥开始向外传播。最显著的进步出现在印度旁遮普省到土耳其的亚洲西南部小麦种植带。1963年博洛格将矮秆小麦送往印度作物育种中心，到1968年已有18个国家种植。[67]

1960年同为洛克菲勒基金会所赞助的国际水稻研究所（International Rice Research Institute，IRRI）成立后，类似的发展也发生在菲律宾。[68]稻米遗传学家利用20世纪20年代由日本育种专家在台湾（当时为日本侵占）率先选出的矮秆小麦，创造出结合了热带及温带水稻优点的高产水稻品种。到了60年代末期，国际水稻研究所开发出来的新品种，将绿色革命带到全球各大米仓，涵盖孟加拉国、爪哇岛到韩国的广大弧形地带。从1959年起，中国开发出自己的高产量水稻，但还是来不及纾解1959—1961年的大饥荒。不过它还是及时帮助中国农业度过了“文化大革命”这场风暴。[69]

博洛格认为绿色革命是喂饱快速增长的人口的最佳希望，而这或许真的没错。但这股趋势在世界各地扩散，代表它在其他方面也具有吸引力。除了玉米收成增加（尤其是在津巴布韦），绿色革命对撒哈拉以南的非洲地区少有影响。[70]在墨西哥以外，最支持绿色革命的地区是从土耳其到韩国等社会主义国家边境地带，并以作为对付20世纪60年代达到高峰的社会主义革命之利器自居。水稻育种计划更是出自1949年后美国对中国共产主义可能扩散的焦虑。同时，至少中国、越南与古巴等社会主义国家，也都以同样的热忱拥抱以科学方式改善作物品种的做法。由此足以证明，绿色革命其实是冷战的产物。

绿色革命也对亚洲、拉丁美洲国家社会中最具影响力的阶层产生了极大的吸引力。它能为拥有土地的精英增加收入，在某些地方还能推迟土地改革。对于政府官僚来说，它似乎打开了一条通往城市工业化社会、进而取得财富与权力的路，而不像其他方法那样带有风险。效率更高的农业模式，尤其是出口导向的农业模式，能够累积工业化所需资本，同时将农业的劳动力导向工厂。不必像苏联那样付出沉痛代价，或被庞大外债套牢，就能达到目的，对墨西哥或印度尼西亚等具有影响力的政府来说自然言之成理。除此之外，绿色革命还能确保不必接受美国粮食救援这种可疑的政治工具。[71]综合以上所有原因，不论是在美国、拉丁美洲或亚洲，20世界60年代与70年代绿色革命这类科技方案的时代

已然来临。

它的冲击来得又快又强，就像大部分的革命一样，其后发展往往与发起者原先想法有所出入。主要拜高产小麦与稻米之赐，几十个国家勉强能在人口增长之际维持粮食供应。到了1970年，第三世界约有10%～15%的小麦与稻米属于新品种，到1983年比重超过一半，1991年更达到3/4。[72]1990年，中国稻米与玉米有95%为高产品种。

新品种农作物的传播，带来了全球历史上最大规模且速度最快的作物转移。1960—1990年，大丰收成了家常便饭，其效果之快与大，超越先前农业史上所有转折点。从人类有农业之初到17世纪为止，单产量（至少在欧洲）只增加了大约60%～90%。第一次的“农业革命”始于1680年左右，在70～90年间使英国单产量倍增。其他欧洲社会也大多跟着仿效。同时，1800—1950年欧美以外地区的单产量与劳动生产力，不是停滞不前就是呈现下滑，造成财富与权力普遍不平均的现象。[73]凭借作物育种及成功转移品种，绿色革命足以与历史上伟大的作物引进比拟，例如1492年后欧亚大陆与非洲引进美洲粮食作物（玉米、土豆、木薯），热带非洲进口东南亚车前草，还有公元前900年阿拉伯人将柑橘与甘蔗引进地中海地区。表6.3说明了1960年以来第三世界作物收成所经历的重大变革。

表6.3 93个发展中国家的收成率纪录（1961—1992）

	单产量（公斤/公顷）				
作物	1961—1963	1969—1971	1979—1981	1990—1992	增长系数 1961—1992
小麦	868	1153	1637	2364	2.7
稻米	1818	2218	2653	3459	1.9
玉米	1157	1456	1958	2531	2.2

数据源：取自WRI 1996：226

正如单产量数据所显示，绿色革命实现承诺，创造出丰饶的农田。它的成就不止于此。在生态方面，它结合了机械化并促进单作栽培。因为农民必须对外购买而不能使用自己的种子，而且每种作物需要专属的肥料与杀虫剂，他们必须借由大量购买单一作物，节省投入所需的经费。正如前面所解释，单作栽培会招致害虫问题。即使是起初具有抗虫害能力的作物，往往到最后也无力抵抗。因此农民只好转而不断加大杀虫剂用量。这有效地筛选出具有抵抗力的害虫，就像抗生素之于细菌。[74]同时，大部分的杀虫剂并未击中目标，结果流到了其他地方，有时候甚至进入水源、人体组织及其他不该进入的地方。根据世界卫生组织1990年估计，每年约有两万人因杀虫剂中毒死亡，大部分案例出自棉花田。（截至1985年）约有100万人发生急性中毒，其中2/3为农民。[75]绿色革命对肥料的无止境需求，导致了湖泊与河流的富养化。不可或缺的灌溉也促使中国、印度、墨西哥等地（如第5章所述）推动大型水坝兴建计划。绿色革命也改变了农业的品种与基因多样性：它扩大了水稻、小麦及玉米的影响力，减少了那些对磷较不敏感的次要作物与富含水分的作物，并且大大降低了水稻、小麦与玉米广泛采用的品种数量。在绿色革命之前，全世界农民培育出数千种小麦品种。在这之后，他们逐渐只采用其中少数几种。就这方面来说绿色革命等于是一场赌博，认为农业科学一定能保护这数量不多的高产量品种不受病虫害影响。大体来说的确做到了这点，方法是抢在害虫之前进化，就像抗生素之于病原体。[76]这场赌博也认定石油与水源将维持低价，以满足新式农业对能源有如无底洞般的需索与渴求。目前为止这套方法也奏效，但还是有其限制。[77]

绿色革命为社会带来的影响更令人讶异。在许多地区，它并无法平息耕地吃紧的问题。例如在墨西哥与印度旁遮普邦，绿色革命极度偏重信用良好且水源供给稳定的农民。有些比较贫穷的农民流浪到城市，有些为更成功的农民工作，其他则跑到美国或波斯湾当工人，其中一些人累积足够资金后，也能成为“绿色革命富农”（Green Revolution kulaks）。虽然还是有例外，但绿色革命造成农民收入不均已成惯例。在那些失败农民很难找到其他替代工作机会的地方，例如旁遮普或埃塞俄比亚高地，绿色革命加深了阶级、种族或宗教冲突所引发的社会摩擦。相关文献显示，种植水稻的地区比种小麦更容易发生社会效应。[78]

就像农场机械化一样，绿色革命除了选出生态与社会方面的赢家，各国的输赢程度也大不相同。韩国、中国、印度还有墨西哥（虽然程度不如前三者）都改善了农业国际收支，降低或解除对外来粮食的依赖，

尽管在生态与社会方面付出代价，但它们的确改善了自身的国际政治经济地位。无法创造出有利于绿色革命条件的国家，不论是水源过少或信用市场开发程度不足，相对来说处于劣势。大体来说，这意味着撒哈拉沙漠以南的非洲地位不如亚洲与拉丁美洲。绿色革命这个冷战期间为西方所利用之工具（就某些角度来看确实如此），的确达到了原来的目的，即使高产量水稻在中国发展之顺利，并不亚于美国希望用以包围中国的亚洲边缘岛屿。

虽然程度有限，但绿色革命多少有助于拉丁美洲和热带亚洲与西方及日本抗衡。它有助于推动中国台湾、韩国、印度尼西亚和其他“亚洲小龙”的工业化过程。它让印度成为粮食出口国。但是，虽然绿色革命提高了第三世界农业在土地与劳工方面的效率，生产力增加的幅度却不如同期的西方与日本。1950年，西方劳动效率为第三世界的7倍，到1985年增加为36倍，繁荣的程度也大约为36倍。绿色革命未能使第三世界农民收入变得平均。除了少数国家，它也没能在粮食方面达到完全独立。直到1981年第三世界一直都是粮食净出口地区，在这之后却转为净进口。[79]

这是因为绿色革命只是西方与日本持续农业革命过程中的一个分支，此外也和农业与贸易政策有关。以英国为例，1846年废除谷物法（Corn Laws）后，成为一大粮食输出国。1890—1940年英国农业产量停滞不前。20世纪30年代该国开始实施补贴与保护措施。同时，现代农业在生态、化学与机械方面的转变也开始生根，从1942年起产量开始上扬。第二次世界大战期间英国粮食供给困难，战后数年间不论工党或保守党执政，该国政府都偏向实施农业补贴（于1947年确立），并通过科学农业追求更高的产量，到了20世纪80年代收成已增至原来的二三倍。让相信相对优势原则的人感到沮丧的是，1936年自行栽种谷物比重为30%的英国，在1986年达到自给自足。[80]类似的奇迹也发生在1945年后欧洲、日本、澳大利亚、新西兰与北美大部分地区。[81]苏联差点儿错过这股趋势，因为现代遗传学触怒了斯大林与赫鲁晓夫的社会主义思维，迟至20世纪60年代才出现作物育种方面的进展。1960年苏联便开始参与机械化和灌溉，但一直要到1965年后才开始转向遗传操作（genetic manipulation）学说并大量使用氮肥。因此，农业在现代历经改变后所造成的整体地缘政治效应，稍微改善了西方与日本的相对地位，而中国、亚洲小龙（韩国、马来西亚）以及拉丁美洲之间的相对地位改善的幅度更小，此外也导致苏联地位的相对衰退，以及非洲的疲弱不振。[82]

结论

1940年后全面性的农业变革，机械化与绿色革命只是其中的一部分，但这两者却构成20世纪并反映出其主要趋势。这场变革是能源与知识密集性的，以复杂取代了简单的系统，牵涉到来自远方的投入与多重的社会经济联动。它降低了家庭与区域的自主性，让农民陷入一个由银行、种子银行、作物遗传学、肥料制造商、推广指导员与水源官僚组成的世界。它将西方与日本的成功经验移植到其他社会。它试图强力地驯服大自然，让大自然的作用发挥至极，使其对人类或至少某些小团体更有用处。农业变革大幅度提升了产量，让我们永久地依赖它。截至1996年，如果没有这些变革而要喂饱人类，势必得增加面积相当于北美洲的基本农田（prime farmland）。[83]

由于缺乏这么大片的土地，人类让20世纪紧密而不安地与现代农业结合。重新改造的农业生态系统，必须仰赖社会与国际局势的稳定，才能确保必要投入的输入不受影响。我们的社会与政治系统需要农业生态系统维持不变。

至于对20世纪的影响，现代农业革命的重要性几乎相当于人类与微生物间关系的新机制。两者都从根本上改变了数十亿人的福祉、健康与生命安全。两者都有助于阶级与国家之间权力和财富的重新分配。两者都代表支撑现代生活的系统逐渐复杂化，还有面对任何破坏时更加脆弱的可能性。

我们受微生物威胁的概率降低，仰赖的是现代公共卫生制度下并不稳固的平衡状态；反过来说，我们有了足够的粮食（先不谈分配是否平均的问题），靠的也是现代农业更不稳固的平衡状态。“即使你用耙子将大自然赶走，她终究还是会回来。”罗马诗人贺拉斯如是说。[84]他的智慧现在看来是否已经过时？

[1]我在此根据传统定义使用“非自然”一词。有些人认为，既然人类也是大自然的一部分，那么人类所有的行为也是自然的。

[2]我这样做是因为这些微生物与人类事务最有切身关系。它们或许不是对人类最重要的，因为最重要的是那些能以氮合成蛋白质的微生物，没有它们我们就不可能有基因或肉体。

[3]英国是当年少数成功降低疾病的案例之一。天花、肺结核及其他传染病，在细菌学与有效药物诞生之前就大幅减少了。（Mercer 1990）

[4]完成这部分后才发现，Hays 1998所提及的相关内容更为详尽。

[5]在美国，经水源传染之疾病的致死率在20世纪10年代大幅下滑，到1940年已相当罕见。空气传染的致命疾病不是进行环境疾病控制就能遏止，到1960年前后才变得罕见。

[6]Northrup 1995：120–4.
[7]Curtin 1989.
[8]之所以减少可能是因为19世纪时殖民体制瓦解时基数较高。有关非洲中部与大洋洲请分别参见Lyons 1992与Kunitz 1994。
[9]Jennings 1988：28–32。有关钩虫请见Ettling 1981；有关锡兰与1916年以后洛克菲勒相关医药，请见Hewa 1992、Chomsky 1996有健康与联合水果公司相关讨论。
[10]McNeill 1976：235–91讨论了此一主题，但Cooter 1993提出争论。
[11]第一次有这种情况的殖民战争则为1907—1970年法国征服摩洛哥。Miège 1989：211。
[12]Dobson and Carper 1996。细菌属于简单细胞，与构成人体的细胞大不相同，因此对抗生素毫无抵抗力，抗生素却对人类并无害处。病毒并非细胞，但能穿透我们的细胞而且不会受到抗生素伤害。原生动物（单细胞动物）与寄生虫是传染人类疾病的其他主要媒介。它们有时不耐化学药剂的攻击，但因为结构与新陈代谢太过接近人类，因此经常不受此影响。
[13]假设这些细菌早已在经常接触尘土的人［例如马扎伊尔族人（Masai）］之间作用。
[14]Moulin 1992叙述了疫苗接种的早期历史。
[15]有关平均寿命与健康的进化史，请见RIVM/UNEP 1997：96。在美国，心血管疾病致命率在1920年便已超越传染病，癌症则是在1945年超越传染病。在贫穷国家，要到20世纪末才开始有类似变化。
[16]沙皇时代的俄国当局抗拒细菌学上的革命，促使许多医生投入政治革命。直到1917年细菌学才开始造福俄国（Hutchinson 1985）。
[17]此说法来自Feshbach and Friendly 1992：37。请见Johnson 1988；Solomon以及Hutchinson 1990。
[18]Bloom and Murray 1992：1055说此一声明出自1969年，Porter 1997：491亦然。Tenner 1996：58与Garrett 1994：33则说是1967年。
[19]有关天花的历史与灭绝请见Fenner 1993 and Oldstone 1998：27–44。1958年苏联向世界卫生组织倡导对抗天花的行动。1996年世界卫生组织已几乎消灭所有小儿麻痹、麦地那龙线虫病（guinea worm disease）与河盲症（river blindness），都是非致命性传染病。麻疹也是濒临灭绝的疾病之一。
[20]《经济学人》（The Economist,31 May 1997：73–4）有多重抗药性病原体的调查。
[21]20世纪70年代，这种做法在加拿大与西欧已被列为非法。在美国，用于动物的抗生素为人类的30倍以上（Levy 1992）。有关滥用处方：Ralph Gonzales（曾为《华盛顿邮报》所报道〔Washington Post,17 September 1997：A2〕）指出，1992年美国开立的抗生素处方中有1/5是针对病毒感染，并以感冒为主。
[22]Ewald 1994：65；Raviglione et al.1995。1995年约有20亿人感染芽孢杆菌属（bacillus），相当于全球1/3人口（Dobson and Carper 1996）。
[23]可能与麻疹并列第二（请见Murray and Lopez 1996）。
[24]Epstein et al.1994.
[25]细菌进化相当快速，因为每一代的寿命最短只有20分钟，抗药性的发展有时只需要几周到几个月的时间。它们有时还会为了抗药性而交换基因，不必通过麻烦的性交过程。目前药物研究、取得专利与营销所需时间约5～10年（在20世纪60年代仅需一半时间）。这表示医药研究面临一项严厉挑战，因为公共卫生机构的经费来源不稳定而更加困难，许多有用的研究计划在成果出现之前便告衰退。成效仍待观察，但可能出现的结果是，只要医药研究由药厂主导，危害富有人口的疾病将吸引更多研究与突破性发展，而那些主要影响穷人的疾病便乏人问津。多重抗药性病原体进化，主要得利者就是药厂与其研究团队，他们的作用就和计划淘汰汽车是一样的。请见Society for General Microbiology 1995；Levy 1992；Garrett 1994。
[26]Garrett 1994的预测并不乐观，Murray and Lopez 1996则较为看好。由于牵涉太多不确定因素，所有预测的价值均相当有限。
[27]Feshbach and Friendly 1992：app.4；Population Reference Bureau,1996,World Population Data Sheet。Bridges and Bridges 1996：178认为下降幅度更大。
[28]这种差别的部分原因在于预算削减，但并非主要原因。治疗肺结核是一个长期的过程，芝加哥一般肺结核病人持续治疗的概率低于莫桑比克人（Bloom and Murray 1992：1059–60）。

[29]Lucas 1982。有关1949年以前实施公共卫生措施的困难，请见Yip 1995：105–14。
[30]这些变化中有许多也改变了病原体与动物的关系。举例来说，1987—1992年海豹与海豚的病毒疫情，可能代表了污染河口附近的藻华中正形成一种新的传染病。这些情况虽对人类有间接的重要性，但并非本书探讨范围。
[31]疟疾、血吸虫病、河盲症、丝虫病与日本脑炎为其中几例（Brinkmann 1994：304–6）。Brinkmann认为热带地区近年来通过灌溉所寻求的经济发展、采矿与道路修建，让热带疾病的传播更加容易。同时请见Kunitz 1994：11。
[32]请见Gallagher 1990。
[33]Ibid.34–5；Hunter et al.1993：43–4.
[34]Curtin 1993：346–7.
[35]Chen 1994：323.
[36]Shope and Evans 1993.
[37]Giblin 1992.
[38]Ford 1971；Lyons 1992；Hoppe 1997；Giblin 1990 and 1992；Maddox et al.1996；Headrick 1994：67–94、273–384。至于20世纪20年代法国人所建造的刚果大洋铁路（Congo-Océan railway），每年有10%～30%劳工因传染病死亡，总人数约两万。意大利与中国劳工对于填补行伍来说相当重要。锥体虫对热带非洲历史具有相当强大的影响：它限制了牲畜养殖、犁的使用以及蛋白质供给，却有利于移动式耕作与低人口密度，还有野生动物的保存（Headrick 1994：68）。Waller 1990讨论了殖民主义在马赛族领土等地制造昏睡症所扮演的角色。
[39]请见Morse 1993中诸多论文，Murphy 1994的概数也相当有用。艾滋病数据来自世界卫生组织，由《经济学人》所报道（The Economist,4 July 1998：79）。艾滋病数据乃根据第一件已知感染案例的血液样本，现保存于金沙萨（Science News 153：85，报道朱托夫研究成果；以及《经济学人》（The Economist,6 February 1999：86）报导Beatrice Hahn的研究。生态的变化也改变了非热带地区的疾病模式。（自1920年起）美国东北部重新造林后，鹿的数量增加（主要在1960年之后）且郊区日渐扩大（1945年之后），造成1974年以后莱姆症（Lyme disease）再度兴起。这一切使得这些地区人类接触到鹿身上跳蚤的机会，高出过去至少150年来的水平（Spielman 1994）。人类与微生物之间不经意造成的关系转变，不一定会带来流行病，也可能造成疾病消失，像19世纪疟疾在欧洲北部绝迹。这是因为将牛养在牧场中给予遮蔽，让蚊子有了更好的食物供给。这破坏了疟疾的传播循环，因为引发疟疾的寄生虫在牛身上不如在人类身上活跃。
[40]几个例子包括汉他病毒（Hantavirus）、阿根廷出血热（Argentine hemorrhagic fever）、拉萨热（利比亚与塞拉利昂的变异种）。
[41]Beveridge 1993；Murphy and Nathanson 1994。
[42]有关牛瘟请见Dobson and May 1986、Ford 1971：138–40、Iliffe 1995：208–11、Ranger 1992与Spinage 1962。
[43]20世纪初的厄瓜基尔（Guayaquil，现称厄瓜多尔尔）就是这个过程的一个实例。它在可可出口高峰期快速增长，因其疾病机制而声名狼藉。来自高原不具免疫力的移民，成了传染病源源不绝的受害者；卫生措施则远远落后于实际所需（Pineo 1996）。
[44]有关这30种传染病的数据，请见WHO 1996。
[45]Wills 1996：29所引述。
[46]另一个可能的破坏来源，就是近年在海底喷口发现的细菌群。它们在炙热与充满各种化学物的环境中快乐地生存，但我们的环境可能会更适合其中某些细菌的胃口。Cliff et al.1998检视了疾病在现代环境变迁中的含意。
[47]RIVM/UNEP 1997：75；Vitousek et al.1986.
[48]所有土地覆盖的名词（例如森林、耕地、牧场）定义不一，因此即使是正确的统计数据，也无法进行比较。自1980年左右开始，卫星影像使得研究植被改变更为容易，但其中还是牵涉到许多复杂因素。Houghton 1994讨论了生态学家与农学家对土地利用与土地覆盖看法的差异。
[49]Hannah et al.1994也尝试就全球土地进行分类，但可惜并非根据历史性。这篇文章的作者发现，20世纪90年代全球植被面积中有27%仍未受人类干扰，其中最大的在亚马孙雨林以及非

洲南部林地/草原。文章定义“未受人类干扰”指每平方千米低于10人。

[50]Ioffe and Nefedova 1997：71-5.

[51]扩张乃根据每年增加的耕作面积来计算（Houghton 1994）。1960年，热带与温带地区每年都大约增加400万公顷农地。1970年后，温带每年增减100万公顷，而热带则每年增加600万～1000万公顷。如果排除20世纪50年代苏联处女地计划的影响，1940年起热带的农业扩张便已领先温带。

[52]Biswas 1994内有数据，显示这段期间耕地流失8.4%。

[53]从1945—1990年，每年平均有大约200万公顷遭到放弃；20世纪90年代中期则有500万～1000万公顷（Gardner 1997：49及Xu and Peel 1991：258）。Smil 1993：57表示，1957—1990年中国约有1500万公顷农地流失成为屯垦区与基础建设。有关都市面积扩张，请见Douglas 1994。Biswas 1994指每年有150万公顷农地因盐化流失，另每年有700万～800万公顷因侵蚀与城市化流失。

[54]此处也有例外，像北美高原谷物农夫或新西兰北岛酪农，从1900年起便专事单作栽培，他们出售大多数产出，其他作业方式也都成为未来西方农业的发展方向。但即使是1900年的美国农民，仍得花费45%的农场收入购买外来产品；到了1990年花费比例更超过80%（Solbrig and Solbrig 1994：224）。有关1900年之前各种农业，请见Vasey 1992。

[55]Fitzgerald 1996详述了美国拖拉机与联合收割机自1929年起出口苏联的情形。

[56]有关丹麦请见Nielsen 1988；有关爱尔兰请见Walsh 1992；有关匈牙利请见Gunst 1990。20世纪60年代在日本，耕耘机对解除稻田农民负担很有帮助。1970年起耕耘机开始传到韩国及其他地方。

[57]机械化在非洲有几个失败的例子（例如Jedrej 1983）。由于集体化制度，20世纪30年代西伯利亚泛贝加尔湖地区引进机械化但成效不彰（Manzanova and Tulokhonov 1994）。有关中国机械化问题，请见Tam 1985。有关昆士兰、古巴、秘鲁与美国蔗田收成机械化的阻碍，请见Burrows and Shlomowitz 1992。

[58]有关拖拉机历史，请见Grigg 1992：49–51。有关机械化，请见Rasmussen 1982及Mannion 1995：95–104。

[59]在机械化之前，收割占用农场劳动力达50%，而且是机械化的主要目标。如果不能让收割机械化，在种植或其他农作任务上节省人工比较不合效益。

[60]在美国，早在19世纪70年代某些地区就有由马与蒸汽机所带动的机械，能够带来同样效果：明尼苏达州一位名叫奥利弗·达尔林普尔（Oliver Dalrymple）的农场主，就能成功耕作10千米长的田地（Rasmussen 1982）。

[61]害虫的天敌不觉得单一作物是具有吸引力的栖息地，因此没有足够数量跟随害虫进入未分割田地（Andreas Kruess and Teja Tscharntke,Science News,June 11,1994：375报导）。

[62]Bairoch 1989：327呈现西方农业劳动生产力的进化史：19世纪增长3倍，然后在20世纪增加13倍（截至1985年），而几乎所有增加都在1950年之后。

[63]Hayami and Yamada 1991；Hayami 1975。意大利的作物品种培育者也很早就取得成功，从1912年起使用日本品种；到1932年意大利有1/4的小麦，多数码于北部，是与日本品种杂交培育出来的早熟品种。到了70年代，这些意大利小麦广泛使用于地中海地区（Dalrymple 1974：10–11）。

[64]Mangelsdorf 1974：211–14。双交种乃以四个品种结合为两个“子代”（generation），然后选出最适合的特质。另见Fitzgerald 1990。

[65]华莱士（1888—1965）是农场主、农业期刊出版家，其父曾在哈定总统任内担任农业部长。华莱士在1941年成为小罗斯福总统的副总统，但在四年后由杜鲁门所取代。他与杜鲁门不睦，主要是因为外交政策。后来他数度以进步党（Progressive Party）领袖身份竞选美国总统。

[66]Jennings 1988探讨了洛克菲勒这项计划的政治意义。很显然华莱士与基金会高层希望支持1940年当选的卡马乔总统（Avila Camacho），希望他能在前任总统卡德纳斯（Lázaro Cárdenas）收为国有的美国财产立场上予以妥协（包括标准石油）。当时小麦在墨西哥仍是少量作物。另见Fitzgerald 1986。

[67]Lupton 1987：68–9.

[68]Anderson 1991.

[69]Dalrymple 1974：10–15,73–75.

[70]杂交玉米的研究，是在1930年始于罗德西亚（现为津巴布韦）。1947年发表的一个品种（SR52），1950年后用在商业农场（主要为白人所拥有）相当成功。SR-52大约提高了非洲南部产量约50%，但因为投入昂贵而限制了贫穷农民的采用意愿。其他绿色革命作物都无法在撒哈拉沙漠以南地区造成重大影响（Jahnke et al.1987；另见Low 1985）。

[71]特别是1964年美国公共法480（U.S.Public Law 480）通过之后，开始以粮食援助改善各国对美国的态度。

[72]Tolba and El-Kholy 1992：296；WRI 1996：226.

[73]Bairoch 1989.

[74]1955—1988年间，抗害虫的品种增加了4倍（根据Tolba and El-Kholy 1992：295推测）。

[75]Ibid.p.296；另见Pimentel and Lehman 1993。

[76]有个例外是，1970年有种特别适应美国玉米的真菌，毁掉了15%的收成，迫使农民在1971年改变了他们使用种子的遗传表征（genetic profile）（Mangelsdorf 1974：213）。

[77]关于绿色革命推动者眼中的限制，请见Freeman 1993（作者为前任美国农业部长）。根据Pimentel and Heichel 1991，就能源而言，高产量作物的效率相当于人工以锄头耕作的25%，或以牛拉犁的50%。如果将制造肥料所需的能源计算在内，美国现代农业所燃烧的卡路里确实比想象中多更多。

[78]对绿色革命社会意义的批评不计其数。请见Shiva 1991b；Thandi 1994（有关旁遮普）；Hazell and Ramasamy 1991（有关塔米尔纳德邦，在当地推行效果良好）；Alauddin and Tisdell 1991（有关孟加拉国，在当地推行效果不佳）；Simonian 1995：170–72 and Sonnenfeld 1992（有关墨西哥）。有关收入分配，请见Sharma and Poleman 1993及David and Otsuka 1994。Bezuneh and MabbsZeno 1984讨论了埃塞俄比亚的绿色革命，以及它对20世纪70年代政治革命的推动力。

[79]Bairoch 1989：346。

[80]Blaxter and Robertson 1995。神圣的相对优势原则认为，国家只针对自己最有效率的部分进行生产，其他货物则以贸易取得，便能使收入极大化。英国毅然反其道而行，宁愿确保粮食安全而不顾收入。

[81]请见Cochrane 1993；Hayami and Yamada 1991。在1880—1985年这100多年间，尽管有进口稻米的需求，日本农业劳动生产力增加达16倍之多。土地生产力（产量）则增加了4.4倍（Hayami and Yamada 1991：253–4）。

[82]除了以上所引述，并参考了Burmeister 1990以及Freeman 1993。

[83]此数字来自Dennis Avery，由《经济学人》（The Economist,16 July 1996：23）所引述。其他解决方法当然包括更平均地分配食物，以及提高土地生产粮食效率的其他技术。

[84]Epistles 10：24："Naturam expellas furca tamen usque recurret".

第7章 生物圈：森林、鱼类与人类入侵

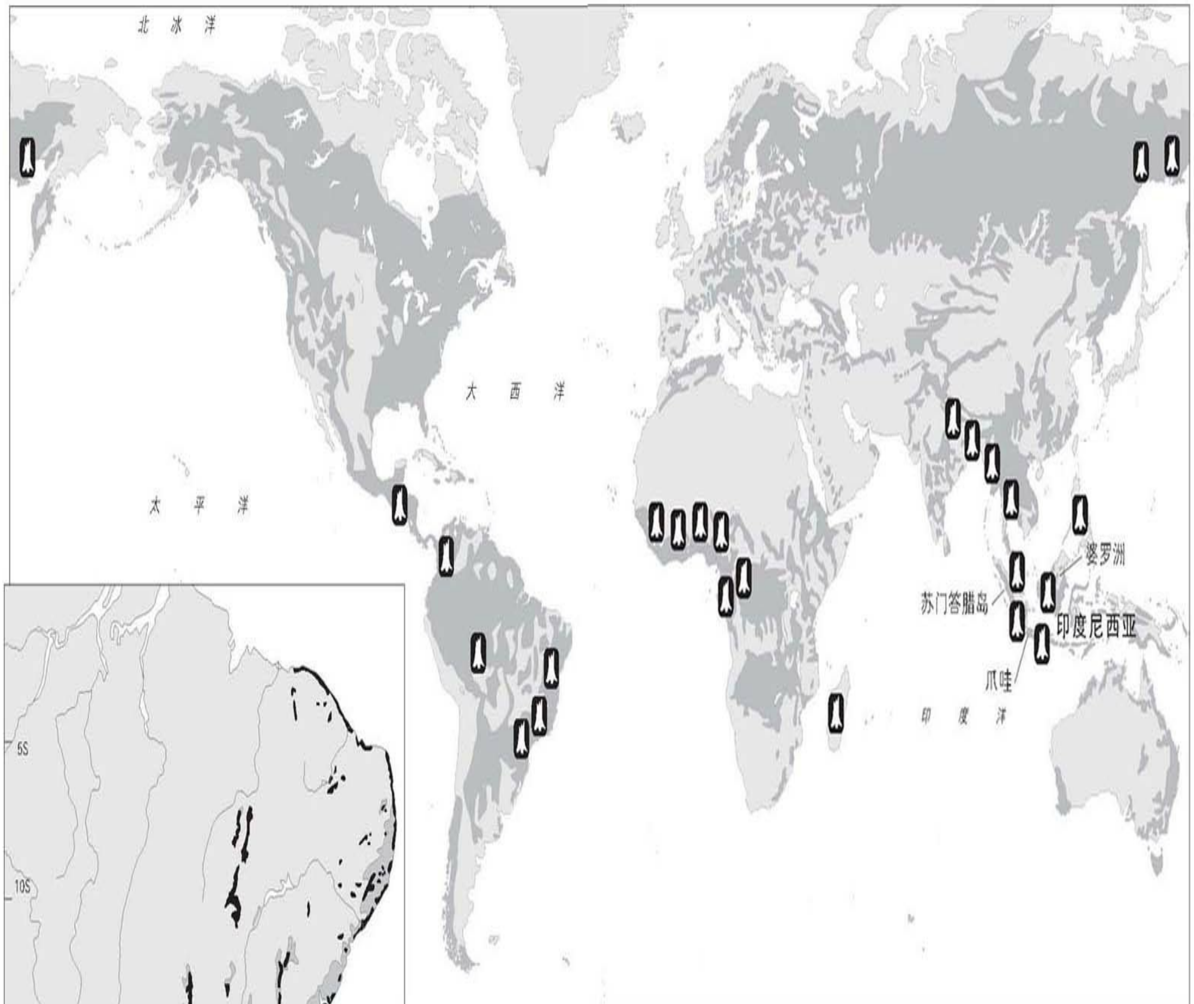
在大自然的国度里，没有事物是不具目的、微不足道或毫无必要的。

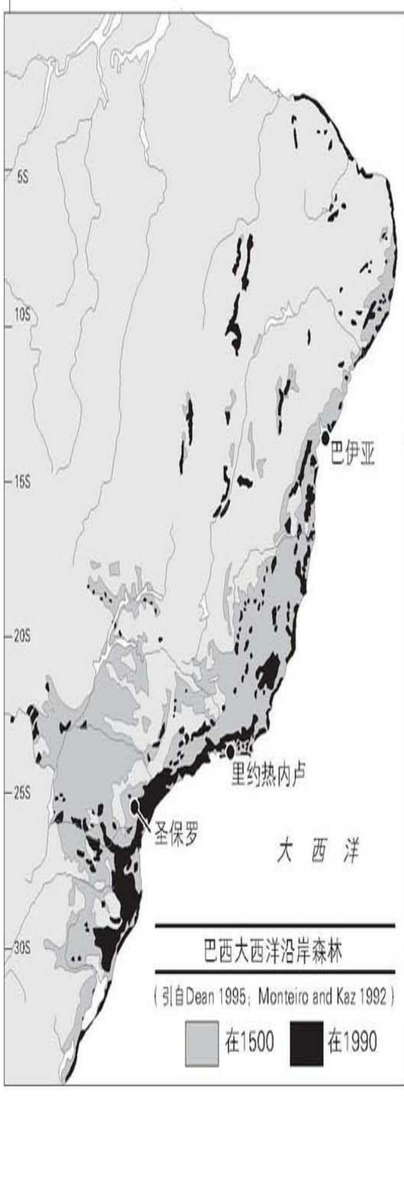
——迈蒙尼德（Maimonides），《迷途指津》（*The Guide for the Perplexed*）

人类健康与农业发生剧烈变革，意味20世纪人类寿命延长，再加上科技进步与紧密整合的市场，都鼓励人类加速汲取森林与海洋中的资源。20世纪经济活动异常快速的步调，尤其是长途贸易，在各地引发狂热的五年计划也以更有系统的方式，将各种生态以前所未见的方式联结起来，而这对生态所造成的后果，往往也是我们过去所难以想象的。在某些案例中，这样的结果更是显而易见。

森林

森林又经历了苦难的一个世纪，无论面积或质量都出现下滑。[1]耕地的扩张在森林消失现象中扮演了重要角色。大体而言，这些剧烈的改变发生在热带与北方针叶森林。森林砍伐的历史悠久，从人类农业之初持续至今，造成全球森林减少15%～45%（相关估计数字差异大到令人气结）。[2]一方面，在非洲与受季风影响的亚洲地区，一万年前的森林只有大约1/3仍然存在。另一方面，美洲则有大约3/4的森林留了下来，俄罗斯则有2/3。在20世纪末，全球只有三个地方仍有大片森林：南美的亚马孙河与奥里诺柯河（Orinoco）盆地；北美洲北部从拉布拉多到阿拉斯加的地区；还有欧亚大陆从瑞典到萨哈林岛整个地带。有四个地区的大片森林就此消失，只剩下一畦畦农田：印度中部到中国北部，马达加斯加，欧洲与安纳托利亚，以及巴西的大西洋沿岸地区。热带非洲与北美的大片森林，现在也大幅缩水并退化。这样大规模的森林砍伐，其中可能有半数发生在20世纪，其中又有将近一半是在1960—1990年遭到砍伐的热带森林。[3]





7. 世界森林分布的变化（1920—1990年）

1920年世界森林分布
（引自Zon and Sparhawk, 1923）

20世纪森林遭快速砍伐的区域

人类砍伐森林有两个主要原因，就是取得木材或利用土地。在1860年以前，北美洲有90%的森林砍伐是为了改造成农地或草地。[4]其他地方森林砍伐的比例可能也差不多。然而自此之后，伐木已成森林砍伐的主要推动力。在20世纪末，温带与高纬度地区几乎所有森林砍伐都是为了取得木材，但在林地改造为农地速度最快的热带，比重则不到一半。在这100年的时间里，或许有1/6的森林砍伐是为取得木材，其余均为农地开发。[5]

虽然森林流失是20世纪普遍的趋势，但其中却存在极大差异。大体来说，1910年以后，或者说至少在1945年以后，温带森林的面积便趋向稳定，甚至扩大，同时热带与高纬度森林却逐渐缩水，尤其是1960年之后速度最快。这是因为之前数百年间温带森林大幅减少，并在下列三项因素的结合下回升：人口增长趋缓，单产量提高使农地需求减少，海外木材供给来源崛起。就最后一点来说，温带地区森林面积趋于稳定，却促进了热带森林的砍伐。为了说明这些事件，我们将从地球两个断面来探讨：美洲大陆大西洋沿岸地区的森林，以及两个亚洲群岛。

北美与巴西　1500年，美洲大陆沿大西洋地区拥有大片森林。美国印第安人焚烧森林的行为，只稍微减少了这些森林的面积。但1500年以后的巴西海岸森林，以及1607年之后的北美东部林地，却开始遭到殖民屯垦农民的破坏。在北美，农民在伐木工的协助下清空了加拿大大西洋各省、魁北克、安大略与美国东部30个州的森林。到了1910年，他们已经占领了美洲大陆东部所有可耕农地，将所有优质林地砍伐殆尽，从刘易斯安那州的杉木到新布朗斯维克（New Brunswick）的白松均无能幸免。20世纪初期所砍伐树木，有1/4用作铁道枕木（1920年前枕木每隔几年便需更换）。1607—1920年，这些东部森林超过半数消失殆尽。

然而约在1920年后，东部的林地复原了。这个过程最早始于1840年，当时中西部与安大略的农场崛起，让新英格兰与加拿大大西洋各省历史较悠久的农场逐渐没落。随着铁路铺设遍及整个北美大陆，东部农场遭到废弃的状况快速蔓延。接着从20世纪30年代起农业单产量上扬，有更多边陲耕地遭到废弃，森林因此重新复育。伐木业所付出的代价也减少了：美国人均木材用量在1907年达到高峰，森林产品的总使用量从1910年左右温和下降，因为1935年后薪柴用量大减，此外钢铁与塑料也在许多用途上取代了木材。最后，灭火行动在1930—1960年，降低了90%因森林大火所造成的森林损失。综合以上所有因素，东部林地开始复育，因为东部森林的成长大约等同于西部砍伐面积，北美整体森林面

积约在1920年后趋于稳定。[6]

巴西的状况就不同了。农业，特别是制糖业，使得1850年前沿海广达上百万平方千米的森林慢慢消失。之后在里约热内卢与圣保罗腹地，咖啡也加入了战局。巴西人深信咖啡要用森林土壤才能种植。20世纪初知名作家蒙泰罗·洛瓦托（Monteiro Lobato）便写道："咖啡的绿色海浪，只有用地球的血液才能制造……它对腐殖土贪得无厌。"[7]铁路、矿场、薪柴的式微，还有20世纪20年代末的林木贸易，也都插了一脚。从累西腓（Recife）到南里奥格兰德州（Rio Grande do Sul）

的沿海森林（1900年仍有将近40万平方千米），缩水的速度越来越快。农业对新农地的需求永无减缓之日，巴西沿大西洋地带人口持续强劲增长，土地所有权制度也确保无地农民的稳定数量。薪柴与木炭的消耗量居高不下——巴西几乎不产化石燃料。1950年巴西建筑水坝解决能源吃紧的问题之后，水库淹没了更多的森林。到了1990年，巴西大西洋沿海森林只剩下约8%。北美洲因为技术与社会变迁而停止砍伐森林的现象并未在此发生，或者说效果太不明显，以至于无法抑制巴西沿海地区的森林砍伐。由于持续的土地需求，20世纪60年代巴西政府有系统地在亚马孙雨林区开放殖民。从1960年到1997年之间，这片全球最大、植物多样性最高的雨林，约有10%成了牧场、农地或灌木林。[8]

日本与印度尼西亚　北美与巴西大西洋沿岸地区森林的历史形成对比，但其间并无明显关联。在日本与印度尼西亚的案例中，森林的历史则相互联结：日本森林植被的保存，其实是仰赖从印度尼西亚等地进口木材。

日本森林的历史自成一格。[9]随着经济景气循环与国家政策的变化，当地的森林在几百年间缩小后又复育。从1780年到1860年，谨慎的森林政策阻止了砍伐。但从19世纪末开始，由于明治政府积极推动国家工业化，日本的森林一度又面临强大压力。到了1900年，除了北方人口稀少的北海道外，所有老龄林（old-growth forest）都不复存在。20世纪30年代，保护剩余森林的努力成了军事化政策的牺牲品。到了1945年，日本森林遭到严重过度利用，而战后饱受轰炸的城市，也为了重建而亟须大量木材。

1950年后情况大幅转变，日本再度成为一个"绿色群岛"。这样的转变源于两个因素。首先在20世纪50年代，日本的能源系统从木炭与薪柴转为化石燃料。20世纪60年代更开始禁止使用木炭。其次，日本开始大

量进口木材，多少造就了一个利伯维尔场。软木来自俄勒冈、华盛顿与英属哥伦比亚，还有部分来自西伯利亚。日本政府解除本地木材的关税保护后，花旗松造成本地木材价格下滑。硬木则来自东南亚，先是菲律宾与马来西亚，1965年后则从印度尼西亚进口。日本成为全球最大的木材与纸浆木料进口国，当地的公司创造出一个林木产品的环太平洋地区联合市场。借由这种方式，日本减轻了自有林地的压力，到了20世纪80年代大部分国土均为森林所覆盖（67%），在温带国家中仅次于芬兰。[10]

印度尼西亚是个位于赤道的群岛国家，国土跨度相当于美国大陆。1610年到1949年，印度尼西亚岛屿先是部分后来全部沦陷，由荷兰殖民统治。广阔的热带森林曾是当地特色，是从恒河到长江一直延伸到澳大利亚的一片存在已久的广大森林带。在几个世纪前斧头与犁出现之前，印度与中国的森林已经缩小。20世纪（主要在1955年后）泰国与马来西亚半岛的部分也发生同样的状况。[11]印度尼西亚森林最严重的流失，则是发生在1965年后。

印度尼西亚森林系统化的耗损，至少可以追溯至1677年，当时荷兰东印度公司开始以爪哇柚木这种全世界最耐用的木材造船。爪哇与峇里岛丰富的火山土壤有利于人口与农业增长。到了1930年，爪哇有4200万人口，相较之下1600年仅300万或400万人，大部分的天然森林都因为水稻耕作与柚木砍伐而消失。日本占领期间（1942—1945年）柚木与薪柴的砍伐达到历史高峰。战争、占领、革命、叛乱与内战（1941—1967年），还有人口持续增长（到1985年已增至1.05亿），都造成了爪哇森林减少。到了20世纪60年代中期，爪哇的森林都是次生林[12]，以及荷兰统治时期实行科学造林（大约在1860—1941年）后重新种植的柚木。[13]但是一些较大的岛上仍保有大量高大乔木。

苏门达腊与婆罗洲这两大岛土壤贫瘠，向来人口稀少，因此仍留有大片森林。20世纪20年代一名荷兰官员注意到婆罗洲的优质木材，但认为没有足够人力进行砍伐。后来情势有所改变。1965—1966年，一场血腥政变与内战使苏哈托将军（1921—2008年）取代苏加诺将军（1901—1970年）成为总统。经济民族主义以及对外国投资的敌意减少了，为资本密集林业的发展预先铺路。同时伐木技术也快速发展，过去视为太远的地区也开始可以砍伐。这些新的条件，再加上菲律宾可销售的木材即将耗尽，造成印度尼西亚偏远岛屿森林遭到严重砍伐。

造成这些状况的种种安排，在印尼这个国家的塑造与维持上扮演了

主要的角色。从罗马到中国，历史上的帝王都会授予土地给忠诚的将士。苏哈托也用同样方式处理伐木许可证。他手下的官员及少数友人拿到了许可证，与外国公司合作取得资金与技术，然后靠出口木材到日本、新加坡、韩国及中国台湾的锯木厂与纸浆厂赚得大笔财富。苏哈托与手下的将军发现，在印度尼西亚制造夹板与纸浆木材获利更丰，因此在20世纪80年代制定新法，逐渐降低进而禁止木材出口。但砍伐的情况还是持续快速增加，到1982年印度尼西亚夹板出口已领先全球。尽管1980年后立法要求森林复育，却在发放伐木许可证的20年间遭到阻碍。历经疯狂砍伐后，留下了一片片矮树与草地，还有一些洋槐与桉树植被。[14]到了1990年，印度尼西亚约有1/3的森林已然消失。在1992年，虽然联合国环境与发展会议发表了一项不具约束力的决议案，建议在2000年之前禁止砍伐热带森林，印度尼西亚的伐木特许权拥有人却加倍努力，好在期限之前卖掉资产。其中较为幸运者，得以赶在1997—1998年的大火前，将分得的林地换成金钱。这场大火造成印度尼西亚与马来西亚上空烟雾弥漫达数月之久，当地森林也都化为灰烬。[15]

印度尼西亚与巴西的故事，不过是我们这个时代众多重大事件的其中一章，也就是热带森林大量遭到砍伐。热带森林种类繁多，覆盖面积一度高达15亿公顷，主要分布在拉丁美洲、非洲西部与中部，以及亚洲南部与东南亚。到了20世纪90年代中期，上述地区约有1/3已转为农地。大部分的森林消失在1960—1990年，面积超过印度。[16]非洲损失了约半数的热带森林，拉丁美洲则不到1/3。20世纪末是森林遭到严重砍伐的时期，就像罗马时期的地中海地区、宋代中国或是铁路时代的北美洲。20世纪末的森林砍伐规模更大，所造成的生态效应大不相同，所运用的科技也从根本上有所不同，但背后动机其实都一样：为了取得耕地与放牧用的土地，以及可以出售的木材。森林民族的灭绝、生态系统支持体系的消失，以及森林砍伐对温室气体累积的助长，尽管大约在1980年后各界对这些现象有相当的警觉，但相对于上述动机来说，这些都无关紧要。森林砍伐受益者的政治力量实在太大了。[17]



在西非，猴面包树（baobab）在文化与社会上均具有重要意义，是人们聚会的地方，也是地方领袖举行仲裁之处。为了砍伐这株猴面包树，图中这些人在树的根部注入毒液，等树死了之后再以推土机推倒。本图摄于大约1950年的马里，空出的土地将用来种植棉花。法国在马里推动棉花种植，是殖民时代末期最大规模且最失败的开发计划之一。1950年后整个热带积极追求新增农地，造成数百万棵树遭到砍伐

捕鲸与捕鱼

热带森林砍伐背后的主要推手，也就是其中的利益与嗷嗷待哺的人口，也重新改造了水文圈的生物群。就像森林一样，政府与国际组织认识到无止境捕捞鱼群与鲸的部分不良后果，但他们也无能为力。渔业向来是最难管理的一环。

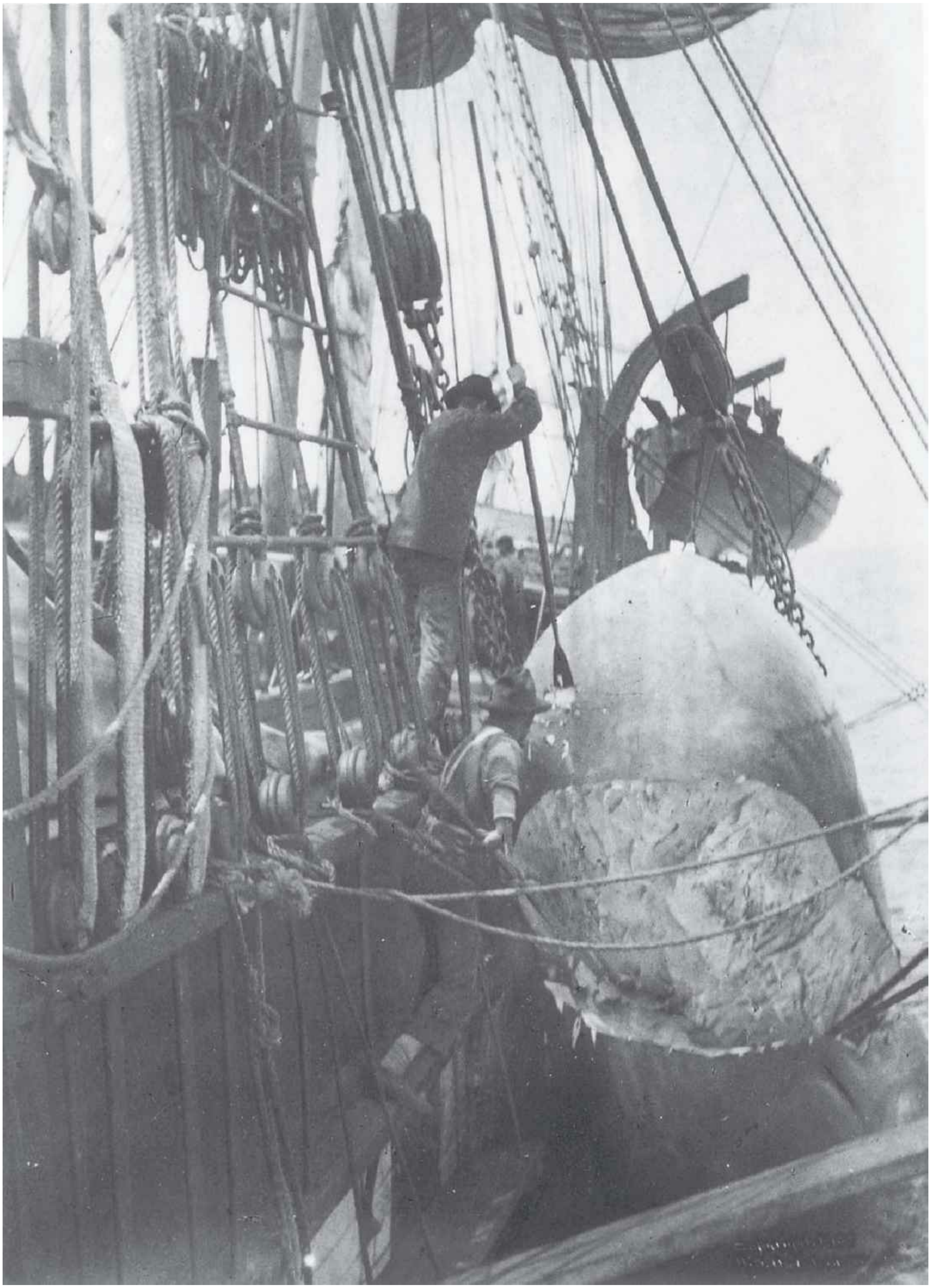
渔业这种开放性资源，经常处于过度捕捞的状态。反正其他人也会来抓，渔民没有理由让鱼留在海里。如果能够不抓小鱼，对所有渔民都比较好，因为这会危及未来整体鱼群数量。但这样只会把鱼让给不遵守规矩的人。由于许多鱼与鲸会不断迁徙，并不限于特定海域，试图将鱼留给自己或同胞的做法效果有限。20世纪大部分时间里，这些艰难的现实使得渔民的生计更加困难也更加贫困。对具有商业利益的鱼与鲸来说，也让它们的生命越来越短。

1904年后南冰洋的捕鲸状况　少有生物像鲸这样遭受人类无情的摧残。[18]在最初5000万年间，鲸的生活一直异常平静，它们的天敌少之又少。捕鲸始于史前时代，直到19世纪末才出现效率较高的旧石器时代的方法：追捕猎物并投掷长矛（鱼叉）。在一个个捕鲸场里，捕鲸业者勇勐地追捕猎物，使鲸的数量少到不值得围捕。维京人与巴斯克人是深海捕鲸的先锋，最初起于大西洋北部。1610—1840年，荷兰与英国的捕鲸业者让斯匹次卑尔根岛（Spitzbergen）及格陵兰的弓头鲸（bowhead whale）数量降至几近绝种。[19]工业革命加速了对鲸的猎捕。鲸油对润滑机器特别有用。制造业发现鲸须有许多用途，相当于19世纪的塑料，可用作束腹、雨伞等支撑物。鲸须也称为鲸骨，是没有牙齿的鲸用来过滤食物的片状角型物质。美国人将捕鲸作业引进广阔的太平洋，并在1820—1860年称霸。到了1860年，容易捕捉的鲸［抹香鲸（sperm whale）与露嵴鲸（right　whale）］大多被捕杀殆尽。最后一个大型的弓头鲸捕鲸场在白令海，也在1890年被美国人猎捕殆尽，造成白令海海峡沿岸以鲸为主食的阿留申人（Aleut）与楚科奇人（Chukchi）陷入饥荒。到了

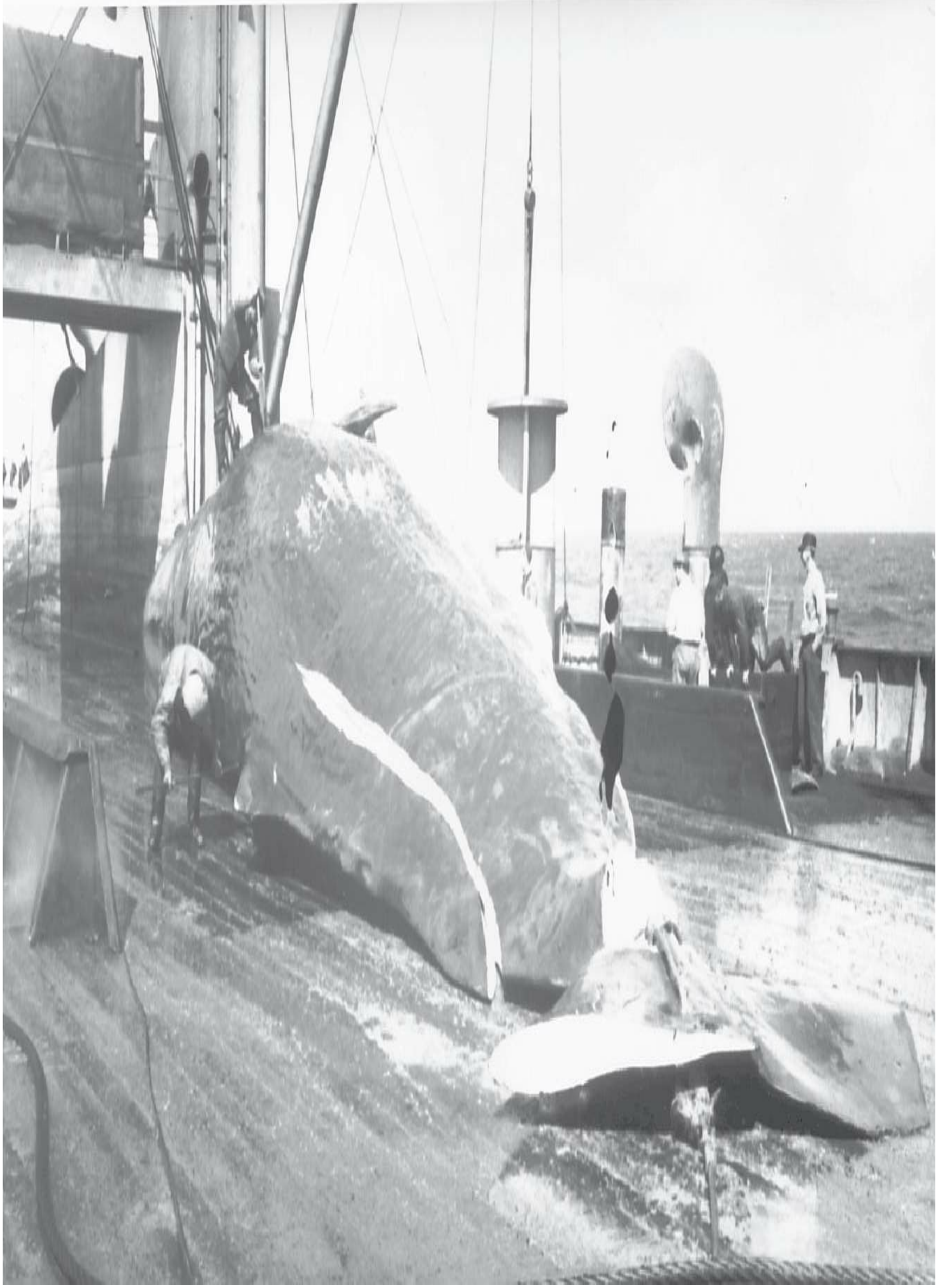
1900年，捕鲸成了“全世界一个已经死亡或者垂死的产业”。[20]还是有很多的鲸留存下来，但都很难捕捉。

存活下来的大多属于须鲸品种，游速快到划桨的捕鲸船赶不上，而且被杀后会沉入海中，对捕鲸人来说并不方便。这还包括了蓝鲸这种地球生物史上最大的生物，还有体型较小的长须鲸（fin whale）、塞鲸（sei whale）、布氏鲸（Bryde’s whale）与小须鲸（minke whale）。1900年，在全世界最丰富的捕鲸场南冰洋，有超过100万只须鲸以当地冰冷刺骨的磷虾群为主食。[21]但在新的科技下，很快便揭开了捕鲸业千年历史中最高潮的一页。

在1864—1868年，挪威捕鲸船长斯文·福因（Svend Fϕyn，1809—1894）开发出能对鲸鱼发射手榴弹的鱼叉大炮（harpoon cannon）。福因是个冷酷无情的人，像《白鲸》里追捕莫比·狄克（Moby Dick）的亚哈船长（Ahab）那样具有坚定的意志，从斯匹次卑尔根岛到南极洲四处猎捕鲸。以一种近乎于模仿艺术的生活方式，福因的命运几乎与亚哈如出一辙：亚哈被鱼叉的线缠住脖子，卷入海中后身亡，他则被鱼叉线缠住脚踝，然后被拉进冰冷的太平洋中。他被救起时只说：“我的帽子不见了。”装置在捕鲸蒸汽船船头、福因所研发出来的大炮，让捕鲸业者首次能够捕杀须鲸。挪威人在北大西洋地区改善了这项技术，须鲸群因此被捕杀殆尽，累积了足以让他们在1950年以前称霸现代捕鲸业的技术与资金。1904年他们开始在南极捕鲸，到1910年便超越北方原本既有的渔场。他们起初捉到的都是比较容易捕捉的座头鲸（humpback whale），但1911年后数量下滑。1915年当时仍为丹麦领土的冰岛，禁止以当地作为捕鲸基地之后，南部开始聚集了更多的鲸。捕鲸业者利用南佐治亚（South Georgia）以及南设得兰群岛（South Shetlands）等亚南极岛屿作为登陆基地。但很快地，这些岛屿的英国总督威廉·阿勒代斯爵士（Sir William Allardyce）便预见到南冰洋鲸群可能步上其他地区的后尘，因此开始限制捕鲸。



这张照片摄于1903年，不肯放弃的捕鲸业者已让许多品种的鲸濒临绝种，当时捕鲸仍是一种手工技术。到了1860年抹香鲸已经相当稀少，但在1904年后捕鲸业者凭借20世纪的高科技，开始进攻南冰洋所环绕的南极大陆这个鲸的主要来源。这让全世界的捕鲸船队东山再起，引发了一场持续不断的攻击，以至于到1960年有数种鲸濒临绝种。图中被捕获的抹香鲸重达8吨



如这张在澳大利亚与南极洲之间海域所拍摄的照片所示，1939年捕鲸已经成为一种工业化企业。有船尾滑台的加工船能装得下整头鲸，迅速地将之分解为鲸油与骨粉。鲸繁育的速度赶不上工业化的捕鲸法，因此在20世纪的前75年里面，鲸数量大幅下滑

这样的限制激发了挪威捕鲸猎人彼得·索勒（Petter Sϕrlle）的想象力，后来他设计出船尾滑台（stern slipway），开发出能把上百吨重的蓝鲸拖上船并在一小时内分解成鲸油与骨粉的加工船。第一艘海上鲸屠宰船于1925年出航，完全不需向英国当局取得执照或支付关税。挪威人也开发出在死亡须鲸体内注射压缩空气的技术，让它们在拖上加工船前都维持漂浮状态。有了这些进展，一个有利可图的屠杀时代就此开始。20世纪20年代英国与挪威并驾齐驱，到了30年代又有阿根廷、美国、丹麦与德国加入猎捕，10年间捕捉蓝鲸达到高峰。1934年日本加入市场，1946年又有苏联，最后甚至在南极洲取代了挪威的地位。

捕鲸主要的利益来自鲸油。[22]须鲸的油其实是脂肪酸，主要用途有三个。利用1903年所发明的氢化作用程序，鲸油能用来制造人造奶油这种自20世纪20年代起便相当受欢迎的奶油替代品，还可用来制造肥皂。鲸油煮沸后的另一项副产品是甘油，是炸药中硝化甘油成分所必需。第一次世界大战之前的军备竞赛，加速了甘油市场的需求，让捕鲸业者更加铁了心。通过先进的化学技术，数百万头鲸成了人造奶油、肥皂与炸药。[23]

大型鲸价值最高。1913—1938年蓝鲸变得极为稀少，导致捕鲸业者转而捕捉长须鲸。由于这种鲸鱼到20世纪50年代末期都还很难找到，声呐的使用因此更为普及（本来是在“二战”期间为反制潜水艇而发明），并利用飞机来定位鲸的方位。捕鲸业者捕捉的鲸品种越来越小，价值也越来越低，到最后只剩小须鲸存活，数量也只到1904年前的水平。1900年南冰洋约有15万～25万头蓝鲸，到1989年只剩下500头。至于长须鲸，1900年数量有70万，到1982年通过捕鲸公约时剩下7万头，到了1989年则只剩2万头。在过去数百年间，捕鲸业者让一个个捕鲸场耗竭。在20世纪，捕鲸业者找到了鲸的主要来源，使得鲸的品种接二连三地灭绝。[24]

从阿勒代斯爵士与冰岛的作为中可以看出，现代捕鲸业开始的初期便有人担心鲸数量减少。1935年蓝鲸数量明显下降，因此出现了由国际联盟（League of Nations）监管的相关规定。但这些规定成效不彰。接着在1946年成立的国际捕鲸委员会（International Whaling Commission），是一个由多数捕鲸国家组成的机构，为了保障鲸油而非

鲸的价格，而在组织成员间自行分配捕鲸配额。这简直是黄鼠狼给鸡拜年。1964年国际捕鲸委员会转而保存鲸的数量，并决定应保护座头鲸。1965年蓝鲸也获得同等待遇。20世纪70年代之前，不遵守规定的国家与鲸盗捕业者，造成限捕措施效果有限。苏联明确认为国际捕鲸委员会的配额只是资产阶级的道德观，因此船队也特别经过设计，以掩饰非法猎捕超过9万头鲸的事实（1949—1980年），其中还包括受到保护的座头鲸与蓝鲸。[25]船王奥纳西斯（Aristotle Onassis）是20世纪50年代大规模鲸盗猎者之一，手下船队利用直升机来寻找鲸，甚至雇用黑名单上的挪威纳粹同路人来捕杀鲸。[26]1963年后鲸数量日稀，再加上反捕鲸人士的抗议，大部分捕鲸船队都退出这个行业，日本与苏联因此称霸市场。20世纪60年代，日本捕鲸业者以温哥华岛、秘鲁、巴西与纽芬兰为基地进行作业，此外也在本国水域捕鲸。除了这两国以外，还有挪威与冰岛也相当擅于规避1982年通过、1986年生效的捕鲸公约：有几千头鲸因为“科学原因”遭到杀害，因此免受公约规范，但这些鲸最后都成了生鱼片。然而在1986年后，捕鲸业的纷扰逐渐平息。1990年之后大部分鲸品种的数量似乎开始增长。在有利的条件下（虽然因为捕鲸行动而难以实现），除了需要多次配种才能受精的蓝鲸外，鲸数量可能在60～100年间复育，逃过绝种的命运。[27]

在南冰洋，福因所留下的工具造成150万头鲸被杀，1904—1985年鲸的生物量（biomass）从大约4300万吨降到600万吨。这让螃蟹有大量磷虾作为食物。到了20世纪30年代末期，座头鲸与蓝鲸几乎濒临绝种，须鲸、塞鲸与小须鲸有更多的磷虾可吃，理论上应该可以更快繁殖。由于须鲸成了下一个目标（1935—1960年），塞鲸与小须鲸因此有更多磷虾可吃。后来情况的确如此，每一种鲸都短暂地成为捕鲸业者前一个目标的受益者。猎捕鲸对企鹅与海豹来说却是好事一桩。因为鲸几乎绝种，使得它们的数量至少在1950年后就开始增加。要不是人类捕捉磷虾，它们的数量可能还会持续增加几十年。抢得先机后，即使人类允许，它们也大可阻止鲸重回南冰洋。[28]就像过去几个世纪一样，20世纪的捕鲸业者因为具有经济效益而杀鸡取卵。鲸繁殖的速度缓慢，因此榨取资源并同时保育并不符合经济原则。尽快杀光所有鲸，并将所有收益投资在成长更快的股票、债券，甚至是存款账户，这样才符合经济合理性。即使是开放性资源的问题解决了，只要以纯粹的经济逻辑为优先，鲸永远都不可能脱离濒临绝种的命运。[29]

8. 20世纪末的渔业


海洋渔业分布区
联合国粮农组织划分的世界海域
ARCTIC 海洋名
灰色块大小代表每个区域1987年渔获（百万吨）
（引自Bartz，1964；Chaussade and Corlay 1990）
20
10
5
1
0,3
北冰洋
白令海
东北太平洋
西北太平洋
北太平洋
中西太平洋
中东太平洋
东南太平洋
西南太平洋
南太平洋
南极太平洋
东印度洋
西印度洋
印度洋
南极印度洋
西北大西洋
东北大西洋
北大西洋
地中海及波罗的海
中西大西洋
中东大西洋
南大西洋
西南大西洋
东南大西洋
南极大西洋
南乔治亚岛
南冰洋

1900年之后的海洋渔业　鲸之所以避免了全面绝种，很大一部分是因为保育分子对它们特别有兴趣。其他鱼种并未享有这样的地位。在20世纪，海洋支持人类的程度是前所未见的。不论是总数或人均数量，我们吃鱼的数量比我们的祖先更多。我们还把更多鱼变成了肥料与动物饲料。有了新科技与廉价的能源，才可能有这样的大丰收。到了20世纪90年代，海洋大约有8%的净初级生产力（primary productivity）流向我们所捕捉的鱼。[30]这些渔获与无法可依的过度捕鱼有关。在许多案例中，这对生态造成的效应是砍掉了海洋食物链的最顶层，也就是大型食肉鱼，让海洋成为它们的猎物。[31]

鱼的数量难以估计，因此没有人知道确切的鱼群数量。捕获上岸的鱼数量可以计算，但其数量的波动是否与整体鱼群数量的改变一致，或者鱼群数量的改变是否就是捕鱼所造成的结果，往往很难说。取得信息的困难加深了开放性资源管理的困难。[32]可以确定的是，渔业相当重要。约有10亿人以鱼作为动物蛋白质的主要来源。官方数字（表7.1）显示，全球渔获量约有3/4来自海洋渔业。这些数字忽略了被丢弃的混获（by-catch）。20世纪90年代，混获数量占（登记在案的）捕捞上岸数量大约1/3。这还不包括从未呈报的“黑市”渔获，可能会使总数量多出1/3或1/2。[33]这些数字显示20世纪40年代末到1973年渔获量急速增加，接着增长逐渐趋缓。初期的荣景部分源自第二次世界大战效应，因为战争让海上船队几乎绝迹，鱼群数量恢复到先前水平，并以大西洋北部最为明显。20世纪50年代与60年代的大幅增长，则主要是因为捕鱼船队转往大西洋与太平洋南部渔藏丰富的水域。到了80年代，渔民两年内捕获上岸的鱼类数量，相当于先人在整个19世纪捕到的总量。数据显示，20世纪被捕的海洋鱼类数量（大约30亿吨）超出过去所有加总的数量。[34]

总量数据还隐藏了一项长期趋势。有数不清的重要渔业在20世纪瓦解，而且多半是最重要的项目。20世纪80年代与90年代的渔获量，包括许多先前被认为不具经济价值的鱼种（即“垃圾鱼”），因为鳕鱼、鲱鱼、黑线鳕与鲔鱼等鱼类已经越来越难捕获。

表7.1 全球渔获量（1800—1996）

	渔获量（百万吨）			
年份	海洋	内陆	水产业	总和
1800	≈ 1			
1850	≈ 1.5			
1900	≈ 2.0			
1938	≈ 22			
1945	≈ 13	≈ 5		≈ 18
1950	≈ 15			
1958	≈ 29			
1961—1963	33			

续表

	渔获量（百万吨）			
年份	海洋	内陆	水产业	总和
1964—1966	40			
1967—1969	47			
1970—1972	51			
1973—1975	51			
1976—1978	54			
1979—1981	56			
1982—1984	60	6	7	73
1985—1987	68	6	9	83
1988—1990	71	6	12	89
1991—1993	68	6	15	89
1994—1996	74	7	21	102

数据源：Hilborn 1990；FAOSTAT（联合国粮农组织统计数据库）

注：UNFAO 1997：4统计1950—1994年的数据略高（数据1）。即使确切数字不同，但整体趋势其实一致。联合国粮农组织已就1950—1994年捞捕上岸的数据，发表了几种略有冲突的数据。

地方性渔业的瓦解也不是什么新鲜事。13世纪甚至更早即有防止过度捕捞的规定。可能是为了解决日渐下滑的渔获量，1839年法国与英国

试图通过国际协议减少捕鱼。[35]但在20世纪市场的庞大力量下，加上计划性产量配额与现代科技，更严重的瓦解就此发生。北海渔业与缅因州龙虾业在20世纪20年代瓦解。20世纪30年代规模领先全球的日本沙丁鱼业，也在1946年到1949年瓦解，70年代中期后再度生气勃勃，[36]到了1994年又再崩盘。20世纪30年代在约翰·斯坦贝克（John Steinbeck）的文学作品中永垂不朽的加州沙丁鱼业，则在1945年后大幅下滑，1968年终告消失。同年，大西洋斯堪的纳维亚的鲱鱼业也告瓦解。大西洋东北部的鳕鱼业也如是。有时鱼群数量恢复后会再度下滑，就像日本沙丁鱼。有时鱼群数量未能（或尚未）恢复，像加州沙丁鱼或北大西洋的鳕鱼。[37]只要运用现代捕鱼方法，高度的渔获压力再加上鱼群数量的自然减少，迟早都会造成渔业崩盘。近年来成为全球第二大渔场的北大西洋，也在很早之前及20世纪大多数时间内经历了这种变化。[38]

在全世界最丰富的渔场，这样的现象却只发生过一次。在20世纪50年代中期，因为沙丁鱼业式微而失业的老经验渔民与渔船，为了秘鲁寒流（Humboldt Current）纷纷从加州迁往秘鲁开设工厂。那里冷冽而富含氧气的海水，养成了大量的浮游植物，进而孕育了秘鲁鳀（anchoveta）与智利竹筴鱼（Chilean jack mackerel）。秘鲁人在此捕鱼已有数百年历史，但他们没有高动力船只、大型网具或可以定位鱼群的飞机。到了1962年，秘鲁捕捞上岸的渔获数量超过所有国家，将近700万吨。1967—1971年渔业攀上高峰，达1000万～1200万吨，占全世界总量的20%。可以做成鱼粉和鱼油的秘鲁鳀，是稳定秘鲁外贸的力量，贡献了1/3的外汇。1972年渔获量探底到470万吨，接下来15年内每年也只有200万～400万吨。秘鲁鳀鱼业的瓦解，使全球渔获量减少了大约15%。这场灾难等于让秘鲁经济断了手脚，造成20世纪70年代与80年代政局波动，进而引发严重通货膨胀、失业潮以及暴力革命团体的崛起。

这场瓦解还碰上了1972年的厄尔尼诺现象（El Niño），渔获量的最低点（150万吨）则伴随着1982—1983年的厄尔尼诺现象而来。太平洋流间歇性的短期波动，为秘鲁海岸带来温暖但养分不多的海水，在秘鲁鳀鱼业没落的过程中明显扮演了其中一角；但与过度捕捞，还有厄尔尼诺现象减弱后复原过慢也都有关系。随着加州沙丁鱼业瓦解，秘鲁便在自然与社会的双重因素下步入灾难。[39]

虽然秘鲁鳀鱼业的瓦解是渔业史上规模最严重的，但20世纪70年代后一场全面性甚至可以说是更严重的危机，几乎影响了全球渔场。1945年以来渔业大规模增长主要原因有二：找寻新的渔场并加强旧渔场的捕

捞行动。大体而言，新的渔场都在南半球，像是秘鲁鳀。但始于1971年、在80年代大为兴盛的南太平洋沙丁鱼业，成了最后一个渔场。此后，再也没有无人到过的渔场了。这是渔业史上很重要的转折点，等同于关闭了陆地边界。

1971年后，渔获量的维持，更别提增加了，需要付出更多更密集的努力，包括政府补贴（见下文）与提升技术。新技术包括以声呐与卫星影像来寻找鱼群，还有更大更好的拖网渔船及流刺网。[40]渔民以氰化物与炸药围捕珊瑚礁群的鱼种。这样的确是很努力，对成群捕捉某种鱼来说也相当有效。约有1/4鱼种发展出与珊瑚礁共存这种生存机制，却在人类无情的掠夺下近乎自杀。

1970年之后的补贴政策与新科技，让一个个渔场走下坡路，甚至几乎瓦解。到了20世纪90年代，超过2/3的渔场开发殆尽或过度捕捞。[41]讽刺的是，若要捕捉更多鱼，最好的办法就是减少捕鱼量：减少捞捕小鱼，让更多鱼能够完全成长到可以生育的年纪。20世纪90年代，渔民每年会因为过度捕捞而损失大约900万吨渔获。他们的智慧与决心使得渔获总量提高，却掩饰了大部分渔场恶化的事实。[42]

受自然波动与社会条件交互作用的影响，海洋渔业的景气好坏交替循环比大部分的采集业都要明显。起初，只要有一个渔场瓦解，就会发现另一个（或两个）新渔场。这支撑其大幅增长，尤其是1950—1971年。这种状况鼓励渔民与渔业国家放弃了几乎所有规定。没有了规定，就代表景气大好之后会有低潮，因为只要有人成功，就会引来新船队。这些船队的技术越来越进步，花费因而越来越多。投入捕鱼船队的固定资本不能闲置不用：一年四季、不论白天黑夜都得作业，将所有鱼群捞捕殆尽，直到渔货销售量无法负担营运成本。这些经济现实，让北大西洋与北太平洋的渔业濒临瓦解。

瓦解之后带来了补贴政策，但这只是让问题恶化，随之而来的规定也无法解决问题。[43]在20世纪70年代中期，继秘鲁之后，几乎所有捕鱼国家都宣布实施200海里海域专属经济区（exclusive economic zone，EEZ）。这使得所有大陆架都收归国有，虽然像纳米比亚等国并不实施专属经济区，眼见“他们”的鱼群被来自遥远东欧与东亚国家的船队大量捕捞。[44]在这些专属经济区中，持续出现过度捕捞的行为：本国船队取代了外国船队，许多国家大举投资捕鱼船队以开发自家专属经济区。举例来说，当1997年加拿大实施专属经济区，取得了自16世纪即为国际渔场的纽芬兰大浅滩所有领域。为了利用并促进纽芬兰的经济，20世纪80

年代渥太华针对捕鱼船队扩张与技术升级提供补贴。后来纽芬兰渔民的效率奇高，很快渥太华当局必须付钱叫他们别再捕鱼。20世纪60年代每年渔获量近百万吨，1990年后直线下滑，迫使联邦政府在1992年宣布实施公约，让2.5万名纽芬兰人失业并接受救济。他们不断等待鳕鱼回来，但至今仍徒劳无功。全球的补贴政策——1995年前每年大约500亿美元——造成1970年到1995年全球捕鱼船队吨位数倍增。更进步的管理技术崛起，其中最成功的则为新西兰。[45]然而，这些都无法阻止过度资本化、产能与捕捞所带来的效应——让公海转变成非商业鱼种的领域。

人类对海鲜的需求，对海中群游的鱼种来说是件坏事，对能够养殖的鱼群来说则是福音。水产养殖业已存在好几个世纪，但直到1980年后才变成一门大生意。[46]1980年，全球鱼类养殖渔获量为500万吨，1996年已达2500万吨。中国在宋代（960—1279年）便巧夺天工改良了鲤鱼养殖技术，截至1995年占全球鱼类养殖业比重超过半数，到1988年更成为全球最大鱼类生产国。大约有80%的水产养殖业位于亚洲，其中约2/3是以鲤鱼为主的内陆淡水养殖池，剩下的包括虾及养在海岸养殖箱里的鲑鱼。[47]只有少数几个品种能够养殖，因此水产养殖业的发展就像绿色革命农业，其实是少数品种的极大化生产。除此之外，养殖渔业无助于降低海洋鱼群的捕捞，因为养殖业是利用鱼粉作为饲料。因此实际上来说，为了吃到虾与鲑鱼，人类捕捉了大量的鳀鱼及鲱鱼。如果渔业专家认为海洋渔业已经达到或接近理论上的极限这种说法是正确的，且水产养殖业近几十年的趋势维持不变，10～15年内养殖鱼类的数量就会超过捕捞数量。在20世纪末期与21世纪初期，一场相当于陆地上新石器时代农业革命的转变正在发生。[48]

生物入侵

贸易与移民的浪潮，让20世纪成为一个大规模生物入侵（bioinvasion）的时代。当一种新来乍到的生物定居在某处，茁壮成长并破坏原本的平衡，这就是所谓的生物入侵。[49]大部分在20世纪兴起的疾病（如前面章节所述），事实上都属于生物入侵。它们不需人类干预就能产生。近几百年来运输与贸易兴起，它们也因此更为频繁。谷物、棉花与羊毛贸易规模快速增长，种子随着货物包装流向各方，也大幅增加了植物的迁移。长久以来人类一直是植物散布最有效率的代理人。在人类开辟道路之前，没有一种大型动物能在全球散布植物；所有能在全

球广为分布的动物，都是因为它们能与人类的事业兼容。

生物入侵的历史，随着欧洲人开始跨洲探险（1492—1788年），以及随后的劳工移民而大幅加快脚步。但在20世纪，光是各地区（特别是各大陆之间）之间的交通运量，就足以为生物入侵提供更多机会。扰乱生态系统的频率与强度大幅提高了成功概率，因为生物入侵在受扰乱的生态系统中特别容易成功。从地质时间的超然观点来看，20世纪最主要的特色之一就是促进生物入侵。[50]

许多生物入侵的案例，都是在欧洲、中国或印度海外移民企图将原本熟悉的物种引进他国时发生，尤其以1850—1920年为最。澳大利亚与新西兰有所谓的“驯化团体”（acclimatization society），也就是对澳大利亚的动植物不满意的公民团体。这些团体把进口经挑选的物种当作自己的事业（通常是来自英国的常见品种）。据说有个美国人认为美国应该拥有莎士比亚作品中提到的每一种鸟，因而在1890—1891年在纽约中央公园放生了80对椋鸟（starling），造成美国现今有数百万只椋鸟。[51]带有毛皮的动物也是热门的引进品种，尤其是在欧洲。希特勒手下讲究时髦的空军中将戈林（Hermann Göring），便把美国浣熊带到德国，希望制作浣熊皮大衣。他引进的浣熊最后逃脱，在摩泽尔（Mosel）谷区以及卢森堡、荷兰部分地区定居。[52]跨国引进物种通常会失败，但有些（例如椋鸟）则是太过成功。

然而，引进最具破坏性的生物品种都是偶然发生的，包括以货船、飞机或军事运输的偷渡。经济代价最高的就是昆虫类的害虫了。来自墨西哥的棉籽象鼻虫（boll weevil），在1890年后严重破坏了美国棉花业。巴西凶猛的火蚁于20世纪30年代登陆亚拉巴马州莫比尔（Mobile），引发美国南部一场代价高昂却收不到预期效果的灭虫大战。舞毒蛾（gypsy moth）这种难以控制的法国娇客，在1869年由艺术家兼实业家特鲁夫洛（E.L.Trouvelot）引进波士顿郊区，希望与蚕配种后创建起纺织帝国。特鲁夫洛的蛾最后逃脱了，自此之后北美东部落叶林持续受灾。一项统计显示，1906—1991年，美国引进昆虫的代价约为1亿美元；到了20世纪90年代中期，每年的代价更超过1亿美元；到了1999年，全部入侵物种每年造成美国人大约1230亿美元的损失，相当于每人500美元。[53]

太过成功而成为害虫的入侵物种，因为脱离了原栖息地疾病、天敌、竞争者的限制而形成“生态释放”（ecological release）。在20世纪的轮回中，外来品种的数量超过以往。其中最戏剧化的案例，就是不起眼

的兔子。[54]

来自欧洲的穴兔 源于西班牙的穴兔（Oryctolagus cuniculus）最后征服了全球。[55]在古代与中古时期，它在人类的协助下以龟速入侵欧洲，花了700年才攻占不列颠群岛；到了现代，则因实用与皮毛的价值而被引进世界各地。

最严重的兔子生物入侵发生在澳大利亚。经过先前几次失败后，1859年一位名叫托马斯·奥斯汀（Thomas Austin）的地主成功将兔子引进维多利亚州（Victoria）。6年内他在所属土地上杀死了2万只兔子。到了1870年，兔子在澳大利亚多数地区都已经成为一害。放牧业者不知不觉打造了一个兔子的天堂：他们种植牧草，开挖池塘（为了蓄养家畜），并尽其所能杀光所有的袋鼠、小袋鼠（wallaby）、负鼠、澳大利亚野犬与鸟类，因而消灭了兔子的对手与天敌。他们让鼠袋鼠（rat kangaroo）绝种，留下了最适合当作兔子藏身处的地下信道网络。兔子引发了放牧者的愤怒，因为它们吃掉了原本要用来养羊的草。兔子花了大约60年（1859—1920年）入侵澳大利亚所有适合居住的地区。1902—1907年，澳大利亚西部还设立了长达2100千米的围篱，以保护当时澳洲最具价值的羊毛出口。但兔子很轻易便突破了这道“马其诺防线”，整个澳大利亚都有它们咬食的痕迹。到了1950年，澳大利亚的草原养育了大约5亿只兔子，对放牧业者来说等于少了5000万只羊。后来官方引进了兔传染性黏液瘤（myxomatosis）这种来自巴西的兔子疾病，杀掉了澳大利亚99.8%的兔子。但这并不能将之赶尽杀绝，少数存活下来的都对这种疾病具有免疫力。它们的后代亦是如此，到20世纪90年代数量增至大约1亿只。[56]

兔子在新西兰繁殖成功的程度几乎不亚于澳大利亚，在阿根廷也是如此。1864年兔子首度被引进新西兰，之后百年间其繁殖几乎完全不受干扰，当地有充足的草地且少有天敌。一直到20世纪40年代末，新西兰以空中喷洒毒药的方式杀死数百万只兔子，让牧场主人大为欣喜。19世纪末智利刻意野放，兔子因而在南美洲立足繁殖，最后也入侵了最南端某些岛屿。在1945—1950年，在一场并无纪录但让人忆起的圣马丁（San Martin）军队的史诗般壮举下，兔子穿越了安第斯山脉进入阿根廷，发现一望无际的草原正等着它们。它们以每年大约15～20千米的速度从阿根廷边境挺进，尽管有兔传染性黏液瘤之类的阻碍，还是有大约5万平方千米的面积被兔子入侵，约相当于斯洛伐克或美国西弗吉尼亚州的面积。

兔子在北美繁殖并不顺利，只有加州与华盛顿州少数几个据点。很久以前兔子便在摩洛哥与阿尔及利亚设下滩头堡，但并未在其他地方大量繁殖。在南非［纳塔尔（Natal）］，一个规模不大的兔群，因为蚂蚁攻击幼兔而被消灭。在1656年，一个规模更小的兔群入侵了罗宾岛（Robben Island，这里囚禁了种族隔离制度下最有名的人犯），一点一点地啃食当地植被，但几乎为人所遗忘。除了澳大利亚以外，穴兔繁殖最为成功的地方即属岛屿。目前兔子已占领全球800个岛屿，在一些小岛上也极占优势。在人类众多旅伴当中，只有老鼠入侵的状况堪称超越穴兔。[57]

栗枯枝病（ chestnut blight）1897年美国农业部设立了外来种子与植物引种部门，依照进步时期（Progressive Era）的精神来改善美国生物群。这个部门的科学家弗兰克·梅尔（Frank Meyer），在1905—1918年从亚洲引进2500种植物。在众多植物中他还运来亚洲栗树的苗木，其中有些带来一种亚洲栗树具抵抗力但美国同类无力抵抗的真菌。从纽约的滩头阵地向外扩散后，这种真菌在50年内便覆盖了美国东部的阔叶林。栗树原本占据森林中相当大的面积，比重最高可超过25%。栗枯枝病让美国损失了一种用途众多、常用于桅杆与篱笆的抗腐蚀木材；它也消灭了阿巴拉契亚山以掉落栗子当作饲料的养猪业；秋天捡十栗子以待冬天烘烤的习俗也因此告终。最后栗树在北美消失殆尽，这可能算得上是“植物群史上最大规模的人为单一变迁”。[58]规模较小的森林生物入侵包括：荷兰榆树病（Dutch elm disease）在1927年从欧洲大陆流入英国，又在1930年入侵美国；还有1900—1975年杀死1/4日本松树的病原体，很显然是来自美国。大体来说，森林的生物入侵案例不多，且局限于温带森林，因为热带森林太过多元化，单一入侵者不可能造成太大的冲击。

草原的生物入侵　在20世纪，欧亚大陆以外的温带草原大多面临更严重的占领与放牧压力。因此，许多草原原有植被都因不适应有蹄动物的践踏而流失。取而代之的是来自欧亚大陆与非洲、历经千年以上筛选后，最能与人类养殖的反刍动物相容的草类品种。最极端的例子包括澳大利亚、南美洲南部以及北美洲西部，这股趋势自1800年便告开始，但在20世纪达到高峰。在1889—1993年，旱雀草（cheatgrass）这种生长在麦田与苜蓿草田里、连家畜也不吃的杂草，入侵了美国大部分的西部山区。19世纪70年代由乌克兰引进南北达科他州的风滚草（tumbleweed），在北美广阔的草原随处可见，成为农民与牧场主的眼中钉。到了20世纪40年代，除草剂抑制了风滚草的蔓延，不过后来它还

是在内华达州的核实验区大量繁殖。美国西部有一种外来（但问题比较小）品种称为“教授草”（professor grass），因为这种植物最早是从研究基地流出的。[59]

水域的生物入侵　全球各地水道的生态入侵，在20世纪也是司空见惯，比过去任何时期都要常见。[60]有些物种从外国引进，特别是可食用鱼类。自1850年起，人类把大约250种淡水鱼，引进到140个左右的国家。大部分都引进失败，只有少数足以改变社会经济。1840年后中国人与印度人以契约劳工的形式移民，进而散居世界各地，经常试图将鲤鱼引进新家园，有时也真的成功了。20世纪所挖掘的数千个人造湖泊，给了外来物种相当宽阔的空间，特别是当气候干燥、既有物种不适应稳定水位时。1974年，津巴布韦卡里巴湖（Lake Kariba）因引进坦噶尼喀湖（Lake Tanganyika）鱼种，当地渔业大为兴盛。在整个热带地区，人类放出被称为“水底鸡”（aquatic chicken）的罗非鱼（tilapia，学名为Tilapia mossambicus或niloticus），这种鱼繁殖极快，肉质鲜美，适合生长在污水或半咸水中。1952年这种鱼被实验性地引进到印度东北部的坦米尔纳德邦，很快便入侵了大部分地区。它还从孟加拉国入侵了印度的西孟加拉邦（20世纪80年代），成为穷人主要的蛋白质来源。[61]

在大型湖泊或封闭海域，生物入侵也造成了极大的影响。尼罗尖吻鲈（Nile perch）这种食肉鱼，长度甚至可比篮球运动员，重量也相当于相扑选手。20世纪50年代，这种鱼因为有人想引进作为休闲垂钓之用，而首度出现在维多利亚湖。起初发展速度缓慢，后来出现了生态释放现象。这种鱼堪称淡水鱼中的暴龙，湖中大约200种慈鲷科（cichlid）鱼种当中，有超过半数遭其消灭，成为历史纪录中最大规模的嵴椎动物灭种案例。（进化生物学家为了这些慈鲷的消失而惋惜，因为它们是现存最佳的新物种进化指标。）20世纪70年代之后，以尼罗尖吻鲈为主的总渔获量大幅上扬，带动了鱼类加工场与出口贸易（主要销往以色列）。与以女性为主、以独木舟捕捉慈鲷的小规模渔民比起来，维多利亚湖的生态变迁更有利于大型业者，因为只有大船能捕捉尼罗尖吻鲈。[62]

在北美大湖区，几项物种的引进也扰乱了水中生物圈，进而造成部分渔业式微。在冰河作用下形成的大湖区，只有大约一万年的历史，因此当地生物圈尚未完全适应所有可能的干扰，面对任何破坏时特别脆弱。尼亚加拉瀑布切断了湖泊与外界的接触，使之成为一个生物地理学上的孤岛。伊利运河（Erin Canal，1825年）与威兰运河（Welland Canal，1829年）兴建后，结束了这样的孤立状态，因此1825年后至少

有139个外来物种入侵五大湖区。1959年圣劳伦斯航道（St.Lawrence Seaway）开通后，内有大量压舱水（ballast water）的海运船开始在五大湖航行，并将压舱水内所含的海洋物种注入五大湖内，生物入侵因此加快脚步。七鳃鳗（sea lamprey）与斑马贻贝（zebra mussel）是其中最具破坏力的两种。

七鳃鳗是一种有如蛇类的长型鱼，具有吸盘式的嘴巴与齿状舌头，借由吸附在其他鱼身上吸血维生。这种鱼最初以大西洋北部为家，但在1850年前渗透进入安大略湖。尼亚加拉瀑布使其无法进入五大湖区，直到1920年左右可能是经由威兰运河进入伊利湖。接下来的30年间，七鳃鳗遍布了整个五大湖北部，靠着当地丰富的湖鳟与白鱼而养得肥壮。七鳃鳗的口味与人类相同，喜食具商业价值的鱼种。或许跟过度捕捞也有关系，不过1940—1960年，七鳃鳗还是让当地湖鳟与白鱼的捕获量减少了超过90%。在1956年左右，过去曾为密歇根湖主要商业渔获的湖鳟已经绝种。[63]七鳃鳗使数千名加拿大与美国渔民失业，留下的只能捕捉一些体型较小、价值不高的鱼种（就像七鳃鳗一样）。1958年开始以化学物毒杀的方式控制七鳃鳗数量，再加上污染控制与放养措施，大约在1970年后鱼群开始复育。不过湖区的商业与休闲渔业，仍未从七鳃鳗过度繁殖的现象中恢复。[64]

斑马贻贝是一种有条纹的软组织动物，原产于黑海与里海。1985年或1986年它随着压舱水入侵五大湖区。1988年，在休伦湖与伊利湖之间的圣克莱湖（Lake St.Clair）发现了它的踪迹，到了1996年更入侵所有五大湖，还有圣劳伦斯河、伊利诺伊伊河、俄亥俄河、田纳西河、阿肯色河，以及密西西比河多数地区。斑马贻贝入侵这些水域后以其中污染物与藻类为食物，让水质越来越清澈。这种喜欢坚硬平坦表面的生物，最爱栖息于五大湖区工业基础设施之上，助航浮标上因为附着厚厚一层斑马贻贝而下沉，甚至堵塞工厂、发电厂与都市用水过滤系统的进水口。到了20世纪90年代，福特汽车一家工厂以及密歇根某城镇的水力发电供应甚至因此暂时关闭，美国每年因此造成10亿美元损失。如以美元计算，它可能是美国历史上代价最高的入侵物种（之前为棉籽象鼻虫）。[65]

斑马贻贝的传奇故事，只是美国与苏联间代价昂贵的生物群交流现象的其中一章。在1979年或1980年时，一种原产于美洲大西洋沿岸的栉水母（Mnemiopsis leidyi）偷偷搭上了一艘预定前往黑海北部港口的船只。当地水质高度污染而且缺氧，这种生物却是少数能够适应的物种之

一，大量吞噬了当地的浮游生物、幼虫及鱼卵。黑海里完全没有以它为食物的天敌。到了1988年它已称霸黑海，根据某项估计占整体湿生物量（wet biomass）达95%。每年因它而消失的渔获价值达2.5亿美元（以亚速海为主），而俄罗斯与乌克兰无力承担这样的损失，多少也成为推动苏联走入历史的动力之一。[66]

因此，在20世纪80年代初冷战时期紧张的气氛之下，美国生态系统首次以栉水母发动反击，而苏联的生物圈则通过斑马贻贝进行报复。这种两败俱伤的情势，可能是因为苏联农业失败，促进了北美的谷物贸易，而贸易增加，船只也增加，压舱水便随之增加。

无论如何，现代船运的大规模扩张以及压舱水槽的广泛使用（始于19世纪80年代），都使得全球海岸、港口与河口物种产生部分同质化。这是“哥伦布大交换”（Columbian exchange，发生在1492年之后的生物传播）多年之后的翻版。就像哥伦布大交换一样，它的结果好坏参半：栉水母没什么好处，但一种远渡重洋来自日本的蛤类，1930年后却在加拿大的不列颠哥伦比亚省及美国的华盛顿州为当地繁荣渔业奠定基础。不论好坏，自1880年起每个航道都成了水中生物交流的高速公路。[67]

生物入侵的控制 “对一个国家来说最伟大的服务，就是增加有用植物的栽培。”托马斯·杰斐逊（Thomas Jefferson，1743—1826年）是这么认为的。排除有害植物应该也在其列。生物入侵经济代价之高，有时甚至会造成反对运动。在杀虫剂出现之前，这就代表着生物控制：也就是找出会攻击入侵者的天敌或疾病。通常会从入侵者的家乡寻找，而且通常都会失败，概率超过85%。1980年以后美国引进超过40种舞毒蛾的天敌，但没有一种能够控制舞毒蛾（大量使用DDT也无效）。有些做法还不止是失败而已：19世纪末新西兰因为外来老鼠与猫造成问题，有人开始引进鼬鼠、雪貂与白鼬来捕食老鼠与猫，但后来发现这些动物不受控制，甚至与鼠猫一起攻击新西兰濒临绝种的原生鸟类。[68]

直到1976年，有56种植物的生物控制勉强算是成功，其中又以2种成果最为显著：利用一种蛾来对付澳大利亚霸王梨（prickly pear cactus），还有金丝桃（St.Johns wort）与铜金花虫属的瓢虫（chrysolina beetle）。澳大利亚从北美引进霸王梨作为观赏用园艺植物，但因对外散布，到了20世纪20年代覆盖面积相当于美国科罗拉多州或意大利。澳大利亚科学家在北美四处寻找以仙人掌为食物的生物，终于在1925年发现了能够减少仙人掌的食掌蛾（Cactoblastis cactorum）。原产于欧洲的金丝桃，在美国西部与澳大利亚成了侵略性极强的野草，在加州被称作

圣约翰草（Klamath weed）。这种植物排挤了有用的牧草，使家畜变得病恹恹。它大约在1900年出现在加州，到了1944年已覆盖200万英亩的牧场。引进各种原产于英国与法国的瓢虫来对抗它，但都没有成功。不过1944年欧洲瓢虫的研究因战争而停止，一种自澳大利亚引进的瓢虫成功地适应了加州的环境，在10年内慢慢将圣约翰草的覆盖面积减至原先的1%，让加州牧牛业者相当满意。尽管生物控制科学日益精进，出现良好结果的可能性或许提高了，但因为少有生物选择食物的习惯如此挑剔，所以鲜有生物控制计划像上述两者这样成功。[69]

生物控制最近一次大获成功，是在1993年后成功让非洲广大的木薯种植带恢复健康状态。木薯是一种巴西的根茎类作物，于16世纪引进非洲，到1990年可养活两亿非洲人。在1970年，一种木薯螨虫（cassava mite）开始侵入非洲的木薯田，以乌干达为中心向四方扩散。不幸的农民损失了半数作物，而且没有一种杀虫剂或其他控制技术有效。南非经过10年的研究之后，昆虫学者终于找到了答案：另一种昆虫（Typhlodromalus aripo）会凶猛地捕食木薯螨虫。1933年先在贝宁（Benin）野放这种昆虫，木薯田的破坏很快便受到控制，非洲西部木薯收成大约提升了1/3。[70]

只攻击目标害虫而不伤及其他生物的完美捕食者或寄生虫是很难找的。生物控制的高难度，使得杀虫剂在外来生物暴增时成为很有吸引力的选择。这对七鳃鳗有效，但在很多案例中却失败了，例如火蚁与舞毒蛾，甚至因而不经意地毒害了周围以百万计的生物，其中包括了人类。

整体而言，现代运输革命及20世纪人类大肆破坏生态系统，让地球变得非常适合入侵物种。繁殖速度快且可移动的泛化种（generalist）生物，接收了地球大部分的地区，造成动植物界大规模的跨洲与跨海同质化。[71]岛屿变化的程度最大——像新西兰就有半数植物为外来品种——欧洲海外殖民地亦是如此。[72]这整个过程堪称地球史上最大的生物革命之一，虽然会增加地区的生物多样性，就全球整体来说却是降低了多样性。1958年查尔斯·埃尔顿（Charles Elton）写道：“我们绝对不能犯错：我们正在目睹全球动植物界史上最大的一场动乱。”[73]20世纪之后生物入侵的速度不可能放慢，而新的基因改造生物，偶尔也可能出现生态释放现象，自行演变出戏剧化的结果。

生物多样性与第六次物种大灭绝

20世纪只是地质时间当中的一瞬，却可能是一场大规模物种灭绝的开端。类似的灭绝过去在地球史上曾发生过5次。其中规模最大的一次发生在2.45亿年前，造成9/10的海中生物灭亡。最近一次发生在大约6500万年前，终结了恐龙，并为哺乳类的出现铺路。每次生物灭绝，都有利于幸存下来的生物。

过去曾经出现的物种，现在多已绝种。大约有1400万种（允许一个数量级的差异）依旧存在。[74]“自然灭绝率”（extinction background rate）或许并非一成不变，但据显示亘古以来平均每年有3个物种消失。平均每200年左右就有一种哺乳类会绝种（目前约有5000种哺乳类）。人类开发、在新大陆进行屯垦、森林砍伐以及狩猎都加速了生物灭绝的速度。自公元1600年以来，至少有484种动物与654种植物灭绝。大部分的生物灭绝都发生在岛屿，还有淡水湖泊及河流：这些都是与外界隔绝的栖息地。20世纪哺乳类的灭绝率，大约是自然灭绝率的40倍；鸟类则约是自然灭绝率的1000倍。1900年仍存在的鸟类与哺乳类当中，大约有1%到1995年已经绝种。[75]

过去发生过的物种大灭绝都原因不明，但发生在现代的就不同了，原因显而易见：来自人类这种哺乳类动物肆意进行的经济活动。地球史上从未发生这样的事。现代大部分的生物灭绝，虽然有部分是因为引进外来物种猎食，但大多是肇因于栖息地流失。[76]全球热带森林遭到破坏，也一定程度上提高了灭绝率，因为大约有半数地球物种生活在热带森林。这些森林越来越支离破碎，形成了夹杂在新开辟田地、焦土与人造湖泊之间的野生动物栖息地“孤岛”。无数动物无法接触同类，到了20世纪注定要灭亡，虽然它们可能还可以撑个几十年，甚至几世纪，但已是苟延残喘。虽然专家看法不一，许多观察家认为下一两个世纪之内，将有30%～50%的地球生物消失。如果真的发生，这将是地球史上第六次大规模灭绝，不但速度比以前任何一次都快，其原因也相当特别。这都是未来才会发生的事：就像气候变迁或臭氧层耗竭，生物多样性的确在20世纪流失，但相关的社会冲击至今仍相当有限。[77]

尽管减少了地球上的物种数量，人类还是改善了许多经过筛选物种的未来前景，包括经驯化的植物与动物，也就是供人类利用的生物群，还有像是老鼠、兔子、蟑螂、燕子、浣熊、马唐草（crabgrass），以及会引发普通感冒的病毒等栖息于人类身边且因此受益的生物（minion biota）。大约有40种动物与100种植物已通过驯化，数量大增且拓展势力范围。[78]人口增长与不断努力重新塑造了地球景观与生态系统，使得

供人类利用的生物群数量达到最大化。到了20世纪80年代，驯化生物占地球动物生物量（animal biomass）的15%，相较之下人类只占了5%。以几种最重要驯化动物数量变化的历史来看（如表7.2所示），除了马是因为1920年后被内燃机取代而失宠，每种驯化动物都在20世纪大幅增加数量。绵羊、山羊与鸡的繁殖及生存最为失控，增加的速度甚至超过它们的主人。当然，这些供人类利用的生物群大部分都被人类宰而食之。它们的数量增加端视人类口味而定，是人类企图将生物圈大部分能量与资源占为己用所造成的直接后果。栖息于人类身边且因此受益的生物，则因为人类不经意间所创造的商机而连带成功大量繁殖，是同一个重大转变过程的间接后果。[79]

表7.2 全球家畜数量（1890—1990年）

	家畜（单位：百万）					
年份	牛	绵羊	山羊	猪	马	家禽
1890	319	356	52	90	51	706
1910	391	418	83	115	73	828
1930	513	567	153	187	88	1203
1950	644	631	187	300	69	1372
1970	1016	1001	325	634	81	2734
1990	1294	1216	587	856	61	10770
1890—1990 年增长率						
	406%	342%	1129%	951%	119%	1525%

数据源：RIVM 1997：95

结论

在《关于费尔巴赫的提纲》（*Theses on Feuerbach*）中，马克思抱怨哲学家只会诠释历史，但重点其实是在改变历史。在20世纪，人类不只诠释了生物的进化，还深深地改变了它。至少从动植物开始被人类驯化后，人类便已开始影响生物的进化。但近年来有越来越多的例子证明，这样的影响已逐渐成为主宰。很久以前，文化革命取代了生物革命，成为人类事务主要的改革力量。在20世纪，人类文化的革命也冲击着，有时甚至是完全控制了其他物种的生物进化。

对人类而言，20世纪最大的变化在于疾病系统与农业。人类的处境发生强烈而根本的变化，影响了数十亿人的生死。从人类的观点来看，森林、渔业、生物入侵与生物多样性的变化没有什么差别。当然，因为皆伐（clearcut）而被逐出祖先留下的土地的婆罗洲达雅（Dayak）族人，或者是失业的加州沙丁鱼渔民，对事情的看法可能就不一样了。对于树或鱼来说也是如此。我采用以人类为中心的观点，也就是数十亿人要比数百万或数千人更为重要。当然还有其他的观点存在。

也就是说，以长远观点来看，生物多样性的侵蚀或生物入侵的后果，可能还不能证实比疾病控制或绿色革命影响更为深远。这些改变可能引发的后果的范围极其广泛：结果可能相当温和，尤其是在20世纪这个趋势受到抑制，但结果也可能大到难以想象。20世纪步入历史后，这些问题也将越来越清晰。

从长远的角度来看，人类的高耗能时期（大约始于1820年）可能类似20亿年前的蓝菌（cyanobacteria）。就像人类近年所为一样，这些微型生物（蓝藻为其后代）开创了新的代谢途径（metabolic path），并在此过程中重新塑造了世界。它们利用水中的氢排出氧气，让空气中氧气浓度从1/1000000000，达到目前的1/5。但这显然毒害了其他大部分细菌，因为氧气对它们来说是有毒的，而蓝菌及其他高耐氧生物得以生存。人类使用的是工具而非简单的氧气中毒，但采取的途径却是相同的，也就是自行塑造生物圈。然而这不是我们所选择的，因为我们对这整个过程的了解，并不比蓝藻更多。

[1]此处质量乃以总生物量为单位，而非每年产生的数量。我将用“退化”一词来形容森林生物量的下降。这样的名词需要定义。被砍伐后再生的森林，长出额外树林的速度比成熟的森林更快，但却无法提供重要的野生动物栖息地或水文稳定性。

[2]Meyer 1996：61提出15%；Williams 1994：106则为17.6%；WRI 1997提出46%。本书表7.1

的数据则为26%。数据讨论请见Mather 1990 and Williams 1994。虽然在历史上森林砍伐的规模与范围上采用同样数值，Williams 1990c与Richards 1990b的说法还是明显不同。

[3]WRI 1997认为1960—1990年间热带地区有4.5亿公顷森林消失（联合国粮农组织估计）。本书表7.1暗示全部的森林砍伐中有2/3发生在20世纪（在17亿公顷中占了10亿公顷。Williams 1990c,1994估计被砍伐的森林数量约90亿公顷，E.Matthews.Richards 1990b：164估计1700—1980年森林净流失为12亿公顷。我的估计在两者之间，但比较接近后者。

[4]Msyhrt 1990：45.

[5]在20世纪80年代，联合国粮农组织估计伐木造成2/3的热带森林砍伐（Westoby 1989：153）。为制造薪柴与木炭而砍伐的部分可能（但鲜少）消灭森林（1960年约10亿平方米，1992年为18亿平方米）。联合国粮农组织统计数据库（FAOSTAT）数据来自1997年9月22日联合国粮农组织官网。即使是像伊朗这样的古老屯垦区，也是直到近年来才流失大量森林。请见Planhol 1969。

[6]美国森林的林木总量，大约自1950年（Mac-Cleery 1994）或1960年（Mather 1990）起增长速度便超过砍伐。北美数据来自Lower 1973；MacCleery 1994；Marchak 1995；Williams 1988,1990c。20世纪80年代美国森林大约缩小了1%。

[7]Quoted in Dean 1995：245.

[8]Dean 1995；McNeill 1988。有关拉美概况，请见Houghton et al.1991。

[9]Totman 1989.

[10]Cox 1988；Marchak 1995：117–42.

[11]Brookfield et al.1990；Feeny 1988.

[12]指在土地被砍伐并进行农耕的几年后重新种植的矮林。

[13]爪哇森林历史摘自Durand 1993、Peluso 1992与Potter 1996。

[14]Potter 1996指出，有11%的伐木许可证必须遵守复育的规定。

[15]Marchak 1995：237–68；Brookfield et al.1990；Westoby 1989：133–8；Potter 1996；Dauvergne 1997.

[16]WRI 1996：201；NRC 1993b：34–5。光是20世纪80年代就流失大约8%。

[17]例如在印度尼西亚，锯木厂、伐木工、夹板制造厂与家具厂均由苏哈托的高尔夫球友哈桑（Bob Hasan）所领导。结果，这些集团在立法方面可说是无往不利（Bresnan 1993：267）。有关菲律宾砍伐森林与政治的关系，请见Kummer 1991。

[18]捕鲸历史的最佳说明请见Ellis 1991、Kock 1995以及T.nnessen and Johnsen 1982。有关南冰洋的专门著作以Knox 1994最佳。

[19]Hilborn 1990：375–6。证据显示日本在巴斯克人1000年以前便开始深海捕鲸。

[20]Hilborn 1990：378；有关白令海弓头鲸见National Research Council 1996：187–88。

[21]南冰洋指大约南纬60度以南的水域，不论在实体上或生物方面都与邻近北方的大西洋、印度洋及太平洋截然不同。

[22]鲸鱼肉也在日本与韩国找到市场。1947年以后日本学校午餐也经常供应鲸肉。日本向国际组织争取更高的捕鲸配额及规避最终无可避免的限制时，鲸肉在日本文化与食物中的重要性，往往是最常被提及的特点。20世纪80年代免除“原住民”的配额限制，因为捕鲸对他们文化与生存至关重要，日本人也曾尝试重新自我定义为原住民。

[23]鲸鱼骨粉也用来当作肥料及鸡饲料，但鲸鱼的油却有利可图。20世纪都把鲸油（sperm oil，其实是一种蜡）当作润滑剂，最主要是在豪华汽车的自动变速箱。20世纪80年代美国仍针对鲸油保留战略储备。

[24]Kock 1995：28；Knox 1994：343–6；Payne 1995：269；Tonnessen and Johnsen 1982：751。所有数字都来自国际捕鲸委员会（International Whaling Commission）。

[25]Payne 1995：298–99。1959—1961年间苏联建造了两艘加工船，大小相当于第二次世界大战时的航空母舰，还有装备用来防御外国飞机侦测它们的秘密捕杀行动。Kock 1995：29有1949—1980年的相关数据，包括4.6万头座头鲸与8000头蓝鲸，由渔业部、克格勃等官员将私猎到的鲸肉卖到日本。

[26]20世纪50年代初期，欧纳西斯违反了国际捕鲸委员会制度，在太平洋使用非国际捕鲸委员会会员国的方便旗（flags of convenience）资助并进行捕鲸作业（Ellis 1991：431–3；

To/nnessen and Johnsen 1982：534–8）。

[27]Kock 1995：19–23、Gambell 1993及Stoett 1997概述了捕鲸规范的历史。有关日本在全球的捕鲸作业请见Kalland and Moeran 1992：93。

[28]有关生态系统效应请见Knox 1994：349–55。Knox或其他我咨询过的作者，均未提及一种鲸鱼品种下滑对另一种鲸鱼的影响；这只是我根据Knox针对磷虾数量所提出的看法而做的推测。1972年苏联拖网渔船开始捕捉磷虾，其他拖网渔船也都跟进。南极上空的臭氧破洞也可能破坏南冰洋的主要保护层，让磷虾数量减少。有关南佐治亚海豹数量的历史，请见Hodgson and Johnston 1997。

[29]Knox 1994：345–6.

[30]Pauly and Christensen 1995.

[31]Caddy 1993针对此一主题探讨了封闭海域的状况。

[32]Rothschild 1996。不同的鱼种数量状况不同。请见Caddy and Gulland 1983。

[33]《经济学人》（The Economist,19 March 1994：24）认为黑市渔获占30%～50%。有关美国渔业混获请见Speer et al.1997：5-7。

[34]这个推测背后有许多假设。为了计算20世纪30亿吨这个数字，我使用了表7.4的数据并且毫不保留地插入。根据Hilborn推测，1800年每年有100万吨的说法，我计算出需要28个世纪才能达到20世纪的累积渔获量。但1800年的渔获量，包括许多在1450年以前尚未开发的渔场［如纽芬兰大浅滩（Grand Banks）］。在15—18世纪造船与航海技术大跃进之前，1800年的渔获量当中只有一小部分能够实现。

[35]Graham 1956：497.

[36]Yamamoto and Imanishi 1992.

[37]20世纪90年代大西洋鳕鱼渔获量是1968年高峰期的大约1/4；北大西洋西部的鳕鱼数量大约是历史平均数的10%（WRI 1997：297）。

[38]有关渔业瓦解请见以下章节：Carré1982、Glantz 1992、Hilborn 1990、McEvoy 1986、Speer et al.1997与UNFAO 1997。

[39]Caviedes and Fik 1992。1998年厄尔尼诺现象复发，秘鲁鳀与智利竹筴鱼渔获量因此减少50%～75%。

[40]主要用于日本、中国台湾与韩国太平洋地区的流刺网，在1992年宣布禁用，尽管之后偶尔仍有人使用，特别是意大利船队。这些长50～70公里的网子，最深可达40米，可捕获其中所有鱼类。

[41]UNFAO 1997：36,65。有些内陆海却逆势发展。以富养化为主的污染，提升了地中海渔获量，并在1991年达到历史高点，波罗的海的渔获量也大增。在波罗的海，渔获量增加主要是因为捕捉过去被海豹吃掉的鱼类，只有20%～40%是富养化所致（Elmgren 1989）。其他一度兴盛的内陆海渔获则下滑。里海渔业成了污染的受害者，咸海渔业则在1982年因为水域缩小而消失（请见第5章）。

[42]Paul 1987；UNFAO 1997；Troadec 1989.

[43]Ludwig et al.1993主张，因为永远无法确定资源的规模，渔业景气时无法避免过度资本化与产能过剩。当景气下滑，政府无法负担渔船船队资金与劳工流失的政治代价，才会出现补贴政策。作者认为这种模式无法避免。

[44]在1965—1980年间，纳米比亚的沙丁鱼渔获量从50万吨降至0（Sparks 1984）。

[45]这称作个别可转让配额（ITQ），是一种让国家水域中鱼群私有化的方式。20世纪80年代初期，许多国家都跟随新西兰进行相关实验。有关近年来的渔业管理方法，请见Hannesson 1994。

[46]中国至少2500年前就有鲤鱼池（Landau 1992：4）。

[47]1982年后，虾养殖场是亚洲南部与东南亚海岸红树林的主要杀手（Gujja and Finger-Stich 1996）。有关亚洲水产业，请见Nakahara 1992及Liao and Shyu 1992。

[48]有关水产业，请见Landau 1992及UNFAO 1997：11–13。

[49]有关生物入侵理论，请见Elton 1958、Groves and Burdon 1986与Williamson 1996。

[50]Burney 1996。引进品种中约有10%会永久定居，其中约有10%会变成具有经济效益（economically significant）的害虫（Williamson 1996）。

[51]Tenner 1996：119–21质疑席费林（Eugene Schieffelin）对莎士比亚的执着；Williamson 1996：46–7则否。椋鸟花了40年抵达太平洋沿岸与阿拉斯加。Elton 1958：22–4；同时请参考Long 1981。椋鸟会对人类传播一种肺部真菌，造成作物损害，是20世纪60年代加州一场大规模虫害控制行动的目标。它们在澳大利亚也是害鸟。

[52]Druett 1983：95。北美麝鼠（muskrat）与貂也在欧洲大行其道。1905年首次由加拿大引进波希米亚的麝鼠成了害虫，破坏了东部的水坝与河岸并因此形成沼泽。有位英国作家认为，放任麝鼠是种比放任食人虎更恶劣的行为。到了1952年，短短半世纪间从法国到日本都有野生麝鼠（Williamson 1996：89–92；De Vos et al 1956）横行。

[53]这些数字为USOTA 1993所计算，以及美国商务部（根据Washington Post,3 February 1999：A15所报道）。有关火蚁请见Tenner 1996：110–3以及Conniff 1990。美国火蚁十分凶猛，家畜与儿童被叮咬后可能死亡。它们在美国会攻击每种动物，但在家乡巴西南部却更为温驯。从20世纪40年代末期起，美国农业部试过各种不同的杀虫剂，到1978年终告放弃。在波及无数鸟类、爬虫类与无辜昆虫之后，火蚁的数目却更甚以往。因为此举除去了火蚁的竞争对手，美国农业部反而为火蚁加速定居铺路。

[54]Di Castri 1989介绍了生物入侵的全面性历史，同时请参见Sykora 1990及Thellung 1915。

[55]Thompson and King 1994；De Vos et al.1956；Jaksic and Fuentes 1991（有关智利）。

[56]Myers 1986.

[57]在63个老鼠品种中，只有2种［黑鼠（Rattus rattus）与褐鼠（R.norvegicus）］随人类散布到世界各地。两种老鼠都源自东南亚，尽管后者又称为挪威鼠，但其实来自中国南部；两种老鼠都体型颇大且繁殖速度快，杂食但对新食物颇有戒心。它们［还有小家鼠（Mus musculus）］是人类殖民地球最主要的受益者之一。请见Michaux et al.1990。

[58]Anagnostakis and Hillman 1992；Elton 1958：21–4。引述文字为J.L.Harper in von所说，请见Broembsen 1989。有关荷兰榆树病，请见Karnosky 1979。

[59]Mack 1986,1989；Manning 1995：169–90.

[60]Ashton and Mitchell 1989：114.

[61]Sreenivasan 1991；Fernando and Holcik 1991.

[62]Dennis 1996：178–9；Ogutu-Ohwayo 1990；Williamson 1996：124–5。尼罗尖吻鲈造成慈鲷数量减少后，藻类因而大量繁殖，但（藻类分解时）会消耗湖中氧气。尼罗尖吻鲈最后成了自己物种繁荣发展的受害者。慈鲷可能因为快速进化而存活下来：它们可能刚好具有能够在尼罗尖吻鲈鱼群或低含氧湖泊中生存的特质。

[63]伊利诺伊伊州农业与天然资源局（Illinois Department of Energy and Natural Resources 1994,3：159–60）。自1965年起，该局便在密歇根湖放养大量湖鳟，但还是无法繁殖。很有趣的是，湖鳟引进南美的的喀喀湖后却形成生态释放现象，对当地鱼种造成极大伤害。

[64]Mills et al.1993；Regier and Goodier 1992。1980年后白肉鱼渔获量恢复到七鳃鳗出现之前的水平，湖鳟则不再被当作商业用鱼捕捉。根据伊利诺伊伊州能源与天然资源局调查（Illinois Department of Energy and Natural Resources 1994,3：165–6）。

[65]Mills et al.1993；USOTA 1993；Washington Post,14 May 1997：H1。《美国动物学家》（American Zoologist）1996年6月号以斑马贻贝为专题。Ludyansky et al.指出，1981年车诺比核子反应炉入水口每平方米有100万～200万个斑马贻贝。自从1890年代，棉籽象鼻虫每年造成美国大约500亿美元损失，但近年控制情况良好（Simberloff 1996）。

[66]Carlton 1996；Travis 1993.

[67]Carlton 1985,1989,1996；Carlton and Geller 1993。压舱水槽发明于19世纪40年代，但直到80年代铁制船舶盛行之后才被广泛使用。现在压舱水皆以附有小孔的铁板引入，借此限制潜入生物的种类。

[68]King 1984。杰斐逊所说的话为Busch et al.1995：92所引述。

[69]Dahlsten 1989；Groves and Burdon 1986；Williamson 1996：120–4；van den Bosch et al.1982：21–35。圣约翰草可能变成一种有用的作物，1996—1997年间，研究发现其化合物可作为抗忧郁药物。

[70]Washington Post,19 May 1997：A3；Biocontrol News and Information,June 1998，请见http：//pest.cabweb.org：81/MEMBER/bni/bni19-2/gennews.htm。

[71]有关好的入侵者的条件，请见Drake et al.1989。

[72]在欧洲中部，外来物种比例为10%～18%，相较之下新西兰高达59%（Sykora 1990；Vitousek et al.1996）。

[73]Elton 1958：31.

[74]此估计数字来自Heywood and Watson 1995。其他数字则在300万～1亿。大约有175万种物种足以形容为“已知”。

[75]Heywood and Watson 1995：233–4；May et al.1995：13.

[76]狩猎所带来的影响有时相当惊人。1850年北美东部数量达到数十亿只的旅鸽（passenger pigeon），到1900年已自野外绝迹，最后一只［名叫马莎（Martha）］则于1914年在辛辛那提死亡。在50年内，旅鸽从北美数量最多（甚至可说全世界最多）的鸟类步上绝种，都是拜森林砍伐与美国神射手之赐，即使在热带森林，狩猎也在灭种与改变森林状态方面扮演了重要角色。Redford 1992估计在亚马孙雨林中，每年有大约2000万只动物因为生存目的的狩猎活动而死亡，以商业为目的的狩猎则杀死了400万只。尽管森林外表看来并无改变，狩猎对亚马孙生态系统所造成的掠夺，其整体效应仍相当严重。

[77]Heywood and Watson 1995概述了所谓生物多样性与灭绝。其他容易取得的相关数据包括Janetos 1997、Kaufman and Mallory 1993、Lawton and May 1995、Leakey and Lewin 1995，以及Wilson 1992。

[78]另有数千种植物已被驯化但规模都很小（Heywood and Watson 1995：717–8）。

[79]1997年纽约市估计有2800万只老鼠（Washington Post,4 October 1997）。

第二部 推动变迁的动力

整个历史，只是叙述了人性与人性以外事物之间的调解和争斗。

——何塞·马蒂（JoséMartí），《作品全集》（1975年），23：44–5

19世纪末，古巴知识分子马蒂体认到环境变迁下所呈现的历史，也会反过来对历史产生作用。20世纪的重大社会、经济与政治变迁，都是和同等重要的重大环境变迁同时发生的。为什么20世纪会发生这么多环境变迁？为什么以前不会？这又是如何发生的？在前面各章，我已针对几个特定的环境变迁案例提供答案。为了以更具系统性的方式解答这些问题，接下来我们必须检视20世纪的社会、经济与政治趋势，勾勒出它们与环境变迁间有如迷宫的关联性。第二部将尝试达到这个目标。

但结果一定无法令人满意。环境与社会变迁之间的关系不易看透、彼此相反、互相重叠且不断变化。提供简单答案的伟大理论（熵、资本主义、人口过剩、父权制度、市场失灵、富足、贫穷）其实帮助不大。

我所能想到的最简单的答案是，20世纪有两种趋势（也就是改用化石燃料能源系统以及人口的快速增长）散播到几乎世界上每个地区，而原本已相当盛行的第三种趋势（追求经济增长与军事力量的意识形态和政治承诺）则更为稳固。

我们必须剖开这个无缝的历史网络才能书写它。我将把这个纠结的主题分为七个部分，然后归类为三个篇章：人口与城市化（第8章）；能源、科技与经济学（第9章）；以及观念与政治（第10章）。篇章如此安排既为了方便起见也是依照逻辑。人口（排序最为优先）与政治（排序最后）之间的关联，对于环境史来说往往相当真实且具有影响力。除此之外，所有的主题都在共同进化的路上携手起舞。

第8章 更多的人口，更大的城市

神圣的自然给了我们国家，而人类的技术建造了城市。

——马库斯·泰伦提乌斯·瓦罗（Marcus Terentius Varro），《论农业》（*De Re Rustica*）

20世纪最大的差别，在于人口增长与城市化双双崛起。这些趋势反映了数十亿人有意识或无意识的选择，其背后也有数不清的原因。有些属于个人选择，像是要不要结婚或要住在哪里；有些则是政治选择，例如澳大利亚在20世纪20年代选择堪培拉作为首都，或者是40年代南非国民党决定实施种族隔离制度。人口增长与城市化的全球趋势，是所有集体决定形成的。从高级文化、儿童天性到企业结构，它们或多或少影响了人类事务的每个方面，也对人类以外的事物造成极大影响。

人口增长

有关环境变迁背后社会动力的讨论，大多数与政治相关，其中又以人口议题为主。相关辩论往往沦为争辩，主张他人必须为了拯救地球而改变生活方式：印度人与非洲人通常主张人口增长问题不大；美国人与欧洲人却认为这很重要。我的看法是，它对某些种类的环境变迁相当重要，对其他则不然，而迁徙的影响往往超过单纯的人口增长。这个议题其实相当复杂。

20世纪奇特的人口史，是（到目前为止）一长串繁衍与生存的高潮。第一章是基于长期的观点，在此我则将聚焦在过去500年间。15世纪末由欧洲水手所发动的全球化，培养出两种对于后来人口史来说相当重要的生物变迁。首先，欧洲水手绕行全球，将疾病散布到一些过去与外界长期隔绝的人口当中。短期来看这导致了毁灭性的损失，尤其是在美洲与大洋洲。到最后，这股传染病的旋涡造就了经验更为丰富的免疫系统，病原体与宿主之间的共生更为紧密，后来也因此出现了公共卫生

系统，流行病的代价才因此平息。其次，海上航行将粮食作物散布到更远更广的地区，让全球每个地区都集中种植最适合当地生态与市场状况的作物。玉米从美洲热带的原生地传至东亚、非洲南部与地中海盆地。热带非洲从巴西引进木薯，美洲则是引进了小麦。总而言之，全球的食物供给获得提升。到大约1650年，这两项因素造成全球人口的长期增长，而且仍在持续当中。

除此之外，还有人类历史上前所未见的人口增长浪潮。这股趋势仰赖粮食供给与疾病预防技术的改善（部分已于第6章讨论），并在1950年后越来越强。这些改善首先造成死亡率下降，使某些社会后来必须限制生育。在死亡率下滑但生育率尚未降低时，人口便快速增长。人口统计学家称这整个过程为“人口转型”（demographic transition）[1]，增长率在20世纪60年代末期达到高峰（每年2.1%）。增长速度之快让观察家大为吃惊，谨慎且敏感的肯尼思·博尔丁（Kenneth Boulding）甚至认真地建议设置可交易的生育许可。[2]1970年后增长趋缓，主要因为女性在社会中有更多发言权，限制了她们的生育力。到了1996年，每年人口增加总量达到高峰，出生人口大约比死亡人口多出9200万～9500万。

随着时间与地区的不同，人口增长时快时慢。人口转型最先始于欧洲，历经一个世纪以上才完成。东亚到1950年后才出现，但所花费时间不到半个世纪。非洲的人口转型仍在继续，因为到20世纪90年代末期生育率才刚开始下降，且各地状况不一。表8.1大略勾勒了全球各地区人口增长的速度。

表8.1 全球各地人口（1750—1996年）

	百万人					
地区	1750	1800	1850	1900	1950	1996
亚洲	480	602	749	937	1386	3501
欧洲	140	187	266	401	576	728
非洲	95	90	95	120	206	732
北美	1	6	26	81	167	295
中南美	11	19	33	63	162	486
大洋洲	2	2	2	6	13	29

数据源：Reinhard et al.1968：680–1；Population Reference Bureau（1996）

注：非洲1900年以前为推测数字，亚洲也是，但比非洲略好；McEvedy and Jones 1978所提供的非洲数字略低，亚洲则略高。

从1850—1950年这段时间，非洲、亚洲与欧洲的人口大约翻了一番。同时，美洲与大洋洲的数字增长更快，在百年内增加了五或六倍。这同时反映出移民潮的模式与自然增长的差异。1950年后，快速增长的地区不一样了。在接下来半个世纪里，亚洲人口增长为原来的两倍以上，拉丁美洲为三倍，非洲则是将近四倍。同时，欧洲与北美因为早已在1950年前即已完成人口转型，增长速度因此慢了许多。[3]

到了20世纪90年代，人类占全球总生物量大约0.1%，占动物生物量约5%，与牛相当但远超过其他哺乳类动物。[4]人类取得优势的时间正好与环境变迁同时发生，那么，是否因此而造成环境变迁？我将尝试从数学与逸闻两方面来解答。首先是数学方面。

试想全球人口增长与某些全球性空气污染物之间的关系。从1890—

1990年，全球人口增加了3.5倍，同时二氧化碳这种主要温室气体的排放上升超过17倍。[5]粗浅的计算[6]显示当时人口只占排放增加部分的1/5。在同一时期里，全球二氧化硫（酸雨的主要成分）排放量增加了大约13倍。人口增加占硫排放增长比重大约只略高于1/4。如果我们只计算美国部分，人口增长占二氧化碳增长31%；在经济合作暨发展组织（OECD）成员国的欧洲地区（亦即较为富裕的欧洲国家），比重则为41%；日本与苏联［及其各个继承国（successor state）］只有2%；非洲则不到1%。[7]暂且不管这种原始的计算，我们大可假设人口增长在大气圈氯氟碳化合物排放方面，多少扮演了最低程度的角色。

因此，对于某些重要的空气污染形式来说，20世纪人口的增长是相当重要但非压倒性的驱动力量。这是显而易见的：大部分空气污染来自燃烧，而燃烧的量与污染强度则只和人口数量有些许关联。在美国与德国之类的富足社会中，更多人口的确造成1900—1970年空气污染水平增加，由于车辆增加、使用更多石油或煤炭来取暖，因此整体而言总燃烧量也增加了。1970年之后，因为新法规、诉讼的影响，再加上长达10年能源价格居高不下，连这些许关联也开始松动：生产与汽车的污染降低，代表人口增加后所多出的空气污染，已不若20世纪50年代或60年代严重。在贫穷的社会中，人口增加对空气污染的影响更小，因为他们增加的燃烧量微不足道。即使在人口增长与污染程度一致的地方，例如1970年后的中国，也很难下定论说就是前者导致后者。快速而不够谨慎的工业化与城市化，影响力或许超过人口增长率。[8]

整体而言，人口增长主要会在工业化与不重视环境资源的社会（与国家）引发额外的空气与水源污染。1890—1970年的美国、日本及西欧即为如此，苏联则是从1960年起出现此一现象。在工业化程度不高的社会，除了人类排泄物与家庭排放的废气外，人口增长对空气污染的影响便少得多。至于正在经历工业化的社会，例如韩国（1960—1990年）或苏联（1930—1960年），人口增长率的影响则远低于工业化的程度与种类。

20世纪人口与污染之间的关系已经够不明确了，而人口增长与其他形式环境变迁的关系更是令人迷惑。人口压力会造成也会预防土壤侵蚀。在某些地方这会促使农民往陡峭山坡地发展（例如爪哇或摩洛哥东部），进而加快土壤侵蚀。在其他地方则是因为劳动力充足，因此能够推动并维持土壤保持计划，像肯尼亚的马查科斯山即是如此。除此之外，山区人口流失有时会加速土壤流失，因为人口过少不足以维持梯田

与其他土壤保持计划。土壤盐化有时源自人口压力（因为灌溉面积扩大），但往往农业商业化或集中规划式农业才是主要原因。人口增长与密度只是这些等式中的部分决定因素：自然、政治与经济条件往往更具重要性。最好的结论——也是一个粗略的结论——就是人口增长经常加快了侵蚀速度，但稳定的密集人口却能使其慢下脚步。[9]

人口增长可能是全球用水量增加的主要原因，加重了水源缺乏的问题（见第4与第5章）。粗浅计算显示所占比重达44%：1900年到1990年用水量增加9倍，人口则增加4倍，因此这段时间增加的用水量当中，有4/9是因为有更多人存在。然而这只是大略的估计。水源使用效率的改变，还有计费与补贴方式的改变，都足以模糊真相。如第4章所述，1980年后美国人口在增长但用水量下降。几乎每个社会的用水系统都有缺失，如利用效率不佳或浪费，因此科技与政策的变化可能比人口增长更能大幅改变现状，而有时也真的做到了。[10]

在20世纪生物群的各种改变当中，人口增长确实扮演了主要推手的角色。粮食需求不但带动了20世纪耕地面积倍增，助长了绿色革命，也促使全球加强捕捞鱼类。人口增长并非单独造成这些变化，但在那些与粮食生产有直接关系的事务方面则影响最大。

然而，某些最重要的生物变迁，则与人口或粮食需求少有关联。与捕鱼不同的是，捕鲸并未明显反映粮食需求的增加。生物入侵几乎与人口增长无关。人类与微生物关系的大幅改变与之有相当大的关联，但其中的因果关系是相反的：是环境的改变造成人口增长。

森林砍伐正好说明了环境与污染的隐晦难题。在某些案例中，例如埃塞俄比亚乡间，近年来研究发现人口增长是造成污染的主要动力。但回溯到19世纪的历史研究，却显示即使过去埃塞俄比亚乡间人口只占后来的一小部分，人口增长率也更低的时候，森林仍是相当稀疏。不论人口增长、停滞，甚至下滑，埃塞俄比亚及世界各地都存在森林砍伐（例如20世纪90年代的俄罗斯，或1900—1940年的马达加斯加）。[11]针对人口与森林砍伐进行统合分析（meta-analysis，也就是以各种独立研究进行统计学研究）后的结论如下：

> 虽然人口压力是导致森林砍伐的一股重要动力，却鲜少成为造成此一结果的唯一因素。其他的决定性因素，似乎都是让人口增长（或密度）足以形成影响的必要中介与偶然事件。

> 定量分析（quantitative analysis）显示，即使人口增长的效应在统计学上来说具有相当意义，其重要性仍相当一般。[12]
>
> 很遗憾的是，这样一个模糊的结论，其实已相当接近真相。

总而言之，人口增长对空气污染的贡献程度不大不小，相关环境变迁中有更大的部分与水源及生物群有关，特别是涉及粮食生产。大规模的环境变迁往往主要源于相辅相成的因素，而非只与人口增长有关。在20世纪后者的重要性可能更甚以往，因为人口增长在1960年后达到高峰。[13]

迁徙

迁徙的影响往往超越人口增长，因为人口增长有时会造成或者说至少有助于迁徙，这两项因素往往密不可分。从1500年到大约1870年，全球性跨洲迁徙潮多为奴隶或“苦力”（coolies）。接着在1845—1920年，人口从欧洲自发地迁徙至美洲的现象，让全球各地其他风潮相形失色。1925年后跨国迁徙退烧了几十年，到1960年再度兴起时，迁徙的路径则更为分散。在所有时期，迁徙往往对土地利用带来本质上的变化，导致激烈的生态变化。

从环境变迁的观点来看，最重要的迁徙与边境地区有关。人口从潮湿地区大规模迁徙至干燥地区，一再引发沙漠化的现象。[14]从平地迁徙至山坡，则往往会加速土壤侵蚀；迁徙至森林地区则会引发森林砍伐。

随着1870年后运输价格走低，加上市场整合，人类搬迁的频率更甚以往。人类经常闯入自己并不了解的生态区。当然这样的情况在人类历史上经常发生。但到了20世纪有更多的人迁徙，能运用的运输科技更多，而且大多数情况下都与市场或国家规划有关，促使他们在开发土地、种植作物、放牧动物、捕捞鱼类或开采矿砂时数量都远超过生存原本所需的水平。

这种情况相当严重。在1830—1920年这段时间，仅欧洲就有5500万～7000万移民前往美洲、澳大利亚与西伯利亚。[15]大批少数族裔从事农

业开发，例如加拿大大草原上的乌克兰人或巴西咖啡种植区的意大利人（在1934年，圣保罗州将近半数的咖啡农场为移民所拥有）。[16]受到第一次世界大战、美国（1924年）等地的反外来移民法、苏联（1926年）等地的反向外移民法、1929年后大萧条等事件的限制，这股划时代的移民潮在1913年达到颠峰后开始放缓。同时期（1834—1937年），大约有3000万～4500万印度人移出，身份多为斐济、马来西亚、缅甸、毛里求斯、纳塔尔、特立尼达与圭亚那等地农场的契约劳工。虽然他们与土地使用决策无关，且多数只是旅居而非长久移民，但他们还是协助开发了数百万公顷的森林地，用来种植甘蔗、橡胶与其他作物。大量中国劳工移民东南亚、加勒比海、加州与秘鲁等地。1914年后，“苦力”贸易也在战争与大萧条的影响下放慢脚步。[17]

移民并未就此停止，只是跨国的情况不若以往。第一次世界大战后有千百万人移往新的乡间地区，但自发性移居的人越来越少。相反地，1920年后强制搬迁与国家政策成了主要原因，恢复到1500—1870年盛行的模式。在某些案例中，国家政策使用提供资金等手段来鼓励自愿移民。大英帝国付钱让年轻人（特别是战后的退伍军人）移民到澳大利亚、新西兰与加拿大等殖民地。这吸引了数十万人加入，英国领土因此有数百万公顷土地成了农田。其他案例则是国家政策强迫移民，南非即为一例。《土地法》（1913年）及其后相关法令限制，只有白人可拥有优良农地，迫使数百万南非黑人移往称为班图斯坦（bantustan）的假性部族故乡。他们挤在南非较为贫瘠的土地上，在陡峭的坡地上耕种，在半干旱的灌木林地上放牛，造成该国许多地方土地退化严重。1949年后，毛泽东计划让数百万已适应雨季型农业的中国人民迁居到内蒙古、新疆与西藏等干旱地带。1960年后巴西主政者将亚马孙雨林屯垦列为国家政策目标，称为“将无人之地分配给无地之人”。在以上几个例子中，大规模移民都是为了达成政治或社会目的的手段。随之而来的环境变迁有时会有难以预料的副作用，有时却是领导者所预期、接受甚至希望的。有时国家政策会牵涉到不同程度的强制与鼓励措施，苏联与印度尼西亚就是两个例子。

至少从16世纪开始，俄罗斯人便开始移居到俄国传统心脏地带以外的地区。为了寻找土地与毛皮，他们深入西伯利亚、中亚与阿拉斯加。除了阿拉斯加之外，这波国土扩张的史诗持续到1917年沙皇时代结束。在帝俄时期的最后几十年，西伯利亚大铁路载运了300万～400万名到西伯利亚寻找免费土地的俄罗斯农民。亟欲开发西伯利亚的俄国政府鼓励这类迁徙，而这波移民潮规模又因政治流亡者涌入更加扩大。[18]苏联成

立（1917—1922年）后不久，由国家推动的迁移潮加快脚步。西伯利亚及中亚的苏联屯垦区有两个目的。它不但是对反革命个人与民族的惩罚，也是苏联领袖所规划的经济发展美好新未来的一部分。大规模迁徙始于1929年斯大林推动农业集体化。有200万到300万的俄罗斯人与乌克兰人，被迫迁至西伯利亚、乌拉尔山脉（Urals）或俄罗斯极北。整个斯大林掌权时期（1927—1953年），有超过1000万人被迫迁徙。其中超过半数被送到俄罗斯共和国边境之外的“处女地”。“二战”期间，有些不被斯大林所信任的民族甚至整批遭到驱逐。在1941年到1944年这段绝望又混乱的时期，有100万名德裔与数十万车臣人、鞑靼人及卡尔梅克人（Kalmyk）迁往中亚与西伯利亚。数百万名俄罗斯人接收了他们位于伏尔加格勒河下游、北高加索及克里米亚的土地。

斯大林破坏了国家的结构，由他所主导的迁移潮，让数百万人搬到不熟悉的环境。有些人砍掉了北方的森林，有些人则是开挖运河、修建铁路或工业设施，还有人试着耕种干旱的俄罗斯大草原。1953年斯大林死后苏联开始使用胡萝卜而非棍棒，因此又有100万俄罗斯人在赫鲁晓夫的处女地计划（见第6章）下到哈萨克斯坦斯坦大草原耕作。总而言之，有数百万苏联公民跑到陌生的土地上苦干，彻底改变了土地的利用与覆盖、水文、土壤与其他方面。为了社会主义的荣耀并强大苏联国力，政府也希望他们这样做。由于这些人必须为了生存而努力，可以设想他们很少会顾虑土壤保持及森林保护。[19]

就像苏联一样，印度尼西亚的统治者也寻求将广大土地转变为具有经济生产力的地区。该国鲜少动用强制手段，且迁移的人民数量较少。印度尼西亚的方法称为“跨界移民”（transmigration）。多数印度尼西亚人居住在爪哇岛上，该岛与巴厘岛并列该国最为肥沃的农业核心地带。面积更大的外缘岛屿，像是印度尼西亚境内称为加里曼丹的婆罗洲，还有苏门达腊及数千个较小的岛屿，都是全球土壤最贫瘠的地区。爪哇岛与巴厘岛向来稻农人口密集，数个世纪以来已将岛上高低不平的地形开辟为一块块灌溉梯田。[20]比较起来，外缘岛屿的人口较少，多数仍为浓密森林，而且对国家的财富与国力少有贡献。数个世纪以来这个国家都是殖民地，由荷兰人掌控。

荷兰人自1905年开始这项跨界移民计划，但至少早在18世纪就有类似构想。荷兰殖民者向来认为应增加婆罗洲与苏门达腊人口，以利于开发这些岛屿的资源，并将之投入市场，尤其是木材与黄金。[21]1905年，荷属东印度大约有3700万人，其中有3000万人住在爪哇。荷兰人提供所

有愿意搬迁的家庭每户近一公顷土地，到1941年已吸引大约20万人移居，且多半前往苏门答腊南部。对于纾解人口压力这个国家政策目标而言，这几乎毫无帮助。荷兰人推动跨界移民达到最高峰那年（1941年），有3.6万人加入，相当于爪哇每两到三周的自然人口增加数。跨界移民在日本占领期间（1942—1945年）暂停，1949年印度尼西亚独立后恢复运作。印度尼西亚的规划者希望爪哇能每年移出200万人，这样到了1987年，至少会有5000万爪哇人移居到外缘岛屿。这将减轻爪哇的人口压力，让外缘岛屿变成具有生产力的地区，当地人口对国家向心力不足，这也是增加当地人口最简单的方法。这个伟大的计划得到从印度尼西亚共产党到世界银行的各方支持，后者甚至捐助了5亿美元。但就像很多其他计划一样，印度尼西亚的跨界移民乃创建于对生态的忽视之上。

结果证实令人大失所望。计划吸引的人数不足，响应的人还是无法脱贫，跨界移民计划所导致的民怨，甚至威胁到国家安全，程度更甚于以大批效忠国家的爪哇人包围原住民的做法。到了1987年只有460万人搬迁，相当于20世纪70年代爪哇人口三年的增长数量。吸引搬迁的条件增加到每户四至五公顷土地。但大部分的爪哇人还是宁愿忍受爪哇乡间的拥挤、雅加达临时搭建住宅的脏乱，或以劳工移民身份前往马来西亚，也不愿到印度尼西亚外缘岛屿辛苦拓荒。爪哇的农民是种稻的专家，但他们的技术只适用于外缘岛屿少数地区。他们辛辛苦苦清出森林地，最后还是落得收成不佳、希望落空、土地流失，甚至废弃。在这些外缘岛屿，茂密森林的成长来自树木与林地地表有机垃圾之间不断产生的养分循环。正如大部分的热带地区，这里的土壤少有养分。在这样的环境进行农耕，需要不同技巧才能成功，通常指火耕。[22]有些跨界移民利用了适当的技巧，有些则否。有些得到国家大力支持，提供学校、诊所等设施，但其他人就没有了。在许多案例中，移民们放弃遭到侵蚀的土地，以及被坚韧但无用的白茅属（imperata）杂草及其他害虫入侵的田地。许多人与外缘岛屿的当地居民发生冲突，因为后者自己也想要在最好的田地上耕作。大约有20%的移民改善了生活水平，剩下的有很多人感到受骗。到了20世纪80年代末期，跨界移民计划几乎停摆。[23]这项计划持续时引发了大规模的环境变迁，如果当初依照规划进行，将会完全改变外缘岛屿。

20世纪全球三大雨林当中，印度尼西亚与巴西这两个都是因为由官方赞助的移民计划而遭到破坏。非洲的雨林免于被破坏的命运，一部分原因是非洲大陆的政治分裂：赤贫的萨赫勒（Sahelian）农民与牧民，

并非因为政府鼓励而迁移到扎伊尔的森林。要是非洲如泛非洲主义分子所愿统一了，那么非洲热带森林的平均寿命一定会下降。[24]

在20世纪，全球各地自发性与官方赞助的移民行动，让数千万人移居到他们所不熟悉的生态环境中。全球有极大比例的环境变迁因此而生。特别是那些受边境农耕严重影响的方面：植被、生物多样性、土壤条件以及干旱地区的水源使用。

城市的足迹与代谢作用

20世纪的城市化影响了人类事务每个层面，形成了与过去各个世纪大不相同的面貌。人类改变环境的例子莫过于城市，但相关影响远超过城市本身。城市的扩张是环境变迁的主要来源。

首先必须考虑整个过程的规模与节奏。千年前的中国与信奉伊斯兰教的中东，人口城市化的程度最高，但即使在这些地方，仍有90%～95%的人住在城市以外的地区。城市规模极度受限于偏远内地几近停滞的农业生产力，以及城市对这些偏远内地起伏不定的掌控能力。1700年全球只有5个城市，人口超过50万，它们全部是政治首都：伊斯坦布尔、东京、北京、巴黎与伦敦。到了1800年也只有6个（加上广州）。城市生活的危险以地区性儿童疾病为主，但也有传染病，造成死亡人数高于出生人口。以伦敦为例，1650年时每年需要移入6000人才能维持人口平衡。1750年伦敦死亡人数抵消了整个英国人口自然增加数量的一半。[25]但都会发展的限制很快就解除了：农场的生产力略为增加，而城市（至少有首都）对内地的控制力也增加了；化石燃料的运输让城市的影响深入乡间；而且公共卫生系统开始起了作用。到了19世纪80年代末期，澳大利亚与巴伐利亚城市居民的平均寿命已经超过乡间居民。到了20世纪20年代，中国城市区人口平均寿命已超过农民。[26]8000年来城市一直是人口的黑洞。在为期一个世代的时间里，它从抑制人口增长变成能够增加人口，这对人类处境来说是一大转折点。

到了1900年，有43座城市人口超过50万，且多半位于西欧、北美东部，还有出口导向经济体的海岸地区（通常为欧洲殖民地）。到了1990年世界各地大约有800座城市人口超过50万大关，大约有270座城市居民超过100万人，14个城市在1000万以上。还有什么因素能够限制城市规

模，尚待观察。[27]

在全球商业与本国农业异常富庶这两股动力带动下，17世纪的荷兰成了第一个城市居民占总人口超过1/10的国家。第一个有半数人口都住在城市的国家，则是1850年左右正在工业化的英国。美国大约在1920年达到这个水平，日本约在1935年，苏联与墨西哥则在1960年，韩国约在1975年，非洲约在1985年。1988年，全世界将近半数人口住在城市里。[28]笼统地说，快速城市化发生在19世纪与20世纪初的日本、西欧与北美东部、20世纪中期的苏联与拉丁美洲，1960年之后则几乎各地都有此现象。以国家来说，城市化速度最快的是20世纪30年代的苏联以及20世纪80年代的中国。两者都反映了正在萌芽当中的工业化过程，苏联的例子是共产主义的建设（而且从一无所有的状况开始创建城市），在中国则是改革开放。毛泽东领导下的中国政策成功地暂停了城市发展，但他的继任者在20世纪70年代末期放弃了毛泽东所设下的限制，压抑已久的城市因此大幅发展。表8.2概述了全球各大地区城市近代的城市化历史。正如该表所示，20世纪期间全球城市人口比重增加了3倍，城市居民总人数从1900年大约2.25亿（多半集中在欧洲与北美）增加到1998年的28亿，增加了13倍之多。

表8.2 城市人口（1890—1990年）

	占全球人口比重（%）					
地区	1890	1910	1930	1950	1970	1990
美国	35	46	56	64	70	75
日本	30	40	48	56	71	77
西欧	35	45	55	63	72	78
拉美	5	7	17	41	57	71
苏联	12	14	18	39	57	66
非洲	5	5	7	15	23	34
中国	5	5	6	11	17	33
南亚	5	8	12	16	21	28
全球	14	18	23	29	37	43

数据源：Thumerelle 1996：75的数字略有不同，尤其是20世纪初的数据

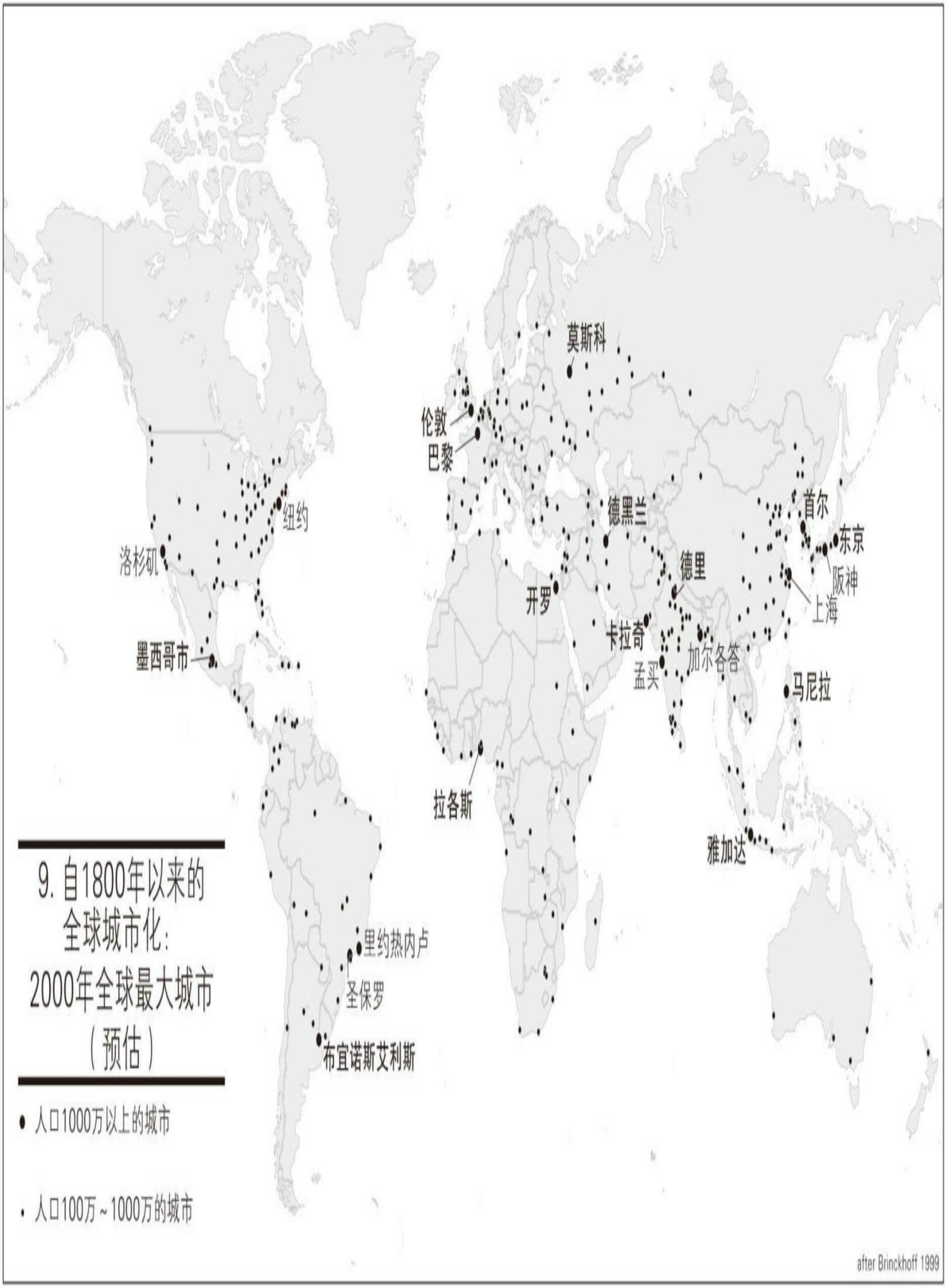
注：这些数据主要来自国家人口普查（与估计），其中“城市”与“乡间”的定义大不相同，在日本一个地方人口须达2万才能称为城市；土耳其为1万人；美国只需2500人。



9. 自1800年以来的全球城市化：1800年全球最大城市



格拉斯哥
曼彻斯特
伯明翰
伦敦
巴黎
柏林
维也纳
圣彼得堡
莫斯科
费城
芝加哥
波士顿
纽约
北京
东京
加尔各答
9. 自1800年以来的全球城市化：1900年全球最大城市
人口100万～1000万的城市
人口50万～100万的城市
after Berry 1990


莫斯科
伦敦
巴黎
纽约
洛杉矶
德黑兰
首尔
东京
德里
阪神
开罗
上海
卡拉奇
墨西哥市
孟买
加尔各答
马尼拉
拉各斯
雅加达
9. 自1800年以来的
全球城市化：
2000年全球最大城市
（预估）
里约热内卢
圣保罗
布宜诺斯艾利斯
人口1000万以上的城市
人口100万～1000万的城市
after Brinckhoff 1999

城市化在全球各地如火如荼地推进，所带来的环境影响既广泛又各有不同。其影响超越了城市界线而深及内地，到达位于下风处与下游的社区，在某些层面甚至扩及整个地球。城市从远近各地吸收了大量的水源、能源与物资。作为交换，它们输出商品与服务，还有污染物、垃圾与固体废弃物。广义来说，这种城市代谢作用（urban metabolism）的过程产生两种环境变迁：污染效应与土地使用效应。[29]

垃圾与污染　快速城市化通常会产生严重的污染压力。基础建设通常赶不上迅勐的城市增长。1900年有许多人生活在没有自来水、下水道系统、燃气或电力的地方，到了1990年还有8亿人如此。[30]因此他们住在自己所产生的废弃物与污染当中（见第4与第5章）。这并不足为奇：从古代开始，大部分城市居民的生活方式就是这样，连死亡也是这样。但20世纪有更多人活在这样严峻的状况下，住在围绕着城市核心地带而建、摇摇欲坠的临时住屋。这些居民通常并没有临时住屋的正式拥有权，随时都可能遭到驱赶，因此他们不愿投资时间或金钱来改善附近的环境。市政机关偶尔会有所作为，像是20世纪七八十年代雅伊梅·莱纳（Jaime Lerner）市长任内的库里奇巴（Curitiba，位于巴西），回收与公共运输便特别有效率。但多数政府都毫无作为，不是缺乏经费就是漠不关心。快速城市化所造成的环境问题，是人类经历中最令人绝望的。最糟糕的是污浊不堪的水源与满是沙尘的空气，但事情并未就此结束。

想想垃圾与固体废弃物。在19世纪，各地的城市——或许日本除外——都因垃圾而臭气冲天。[31]但是当我们讨论1870年后的供水与污水处理问题时，西方世界多数的大都会地区也创建了垃圾收集与处理系统。20世纪初，纽约用垃圾驳船将废弃物倾倒在城市港口外的水域中。其他的城市做法不同，但几乎都只是把垃圾转嫁到邻近的土地或水域以改善城市体质。到了20世纪中期，垃圾与固体废弃物问题日益严重，数量之大让许多城市无力应付。1950年墨西哥市每天制造大约3000吨垃圾，到了20世纪90年代末期变成当年的三倍。其中至少有1/4堆积在街上、沟渠与溪谷里。几乎每个快速增长的城市都会冒出垃圾山，从马尼拉、马普托（Maputo）、基多到卡拉奇莫不如此。大街小巷都因为来自家庭或其他来源的废弃物，而染上一层恶臭且腐蚀的青绿色泽。人口220万的印度城市苏拉特（Surat），20世纪90年代初期当地有1/5垃圾未经收集。这成了老鼠的绝佳栖息地，造成1994年鼠疫（bubonic plague）暴发。官方快速响应加上施以四环素治疗，才将死亡人数控制在56人。经过这次鼠疫后大感震惊的苏拉特市，总算开始有效地清理街道及收集垃

圾，因此到了1997年已成为印度清洁度排名第二的城市。[32]然而，鲜有其他城市能够达成这样的城市奇迹。所幸极差的卫生条件至今仍未造成大规模传染病，像20世纪之初那样造成城市人口大幅减少，而这或许也证明了现代医学的力量。

基础建设跟上城市化脚步的城市，都能好好收集固体废弃物并使之远离人口密集处。第二次世界大战后纽约把垃圾运到史泰登岛（Staten Island），当地那座全球最大的垃圾填埋场于1948年启用，现已成为一座人类挥霍浪费的高大纪念碑。到了20世纪90年代末，纽约将一车车的垃圾运往其他州，像弗吉尼亚州的填埋场费用就较为低廉。20世纪90年代东京制造的固体废弃物是墨西哥市的三倍，不过一直没有出现与垃圾相关的公共卫生问题。日本人有足够的经费与智慧来发现垃圾更好的用途，有些甚至可以变成建材。[33]

综合考虑了所有的城市污染与废弃物问题，我冒险得出以下的年表与结论。富国的城市在快速增长之际遭遇严重的卫生问题，但到1940年这些问题均已通过垃圾收集、污水系统与污水处理厂而获得解决。如此一来它们只剩下来自工业与运输的污染，但这方面的污染规模持续增长。大约1970年之后（之前黑烟与煤烟的案例），城市开始面临这些问题，而且常有办法减轻其强度。就某种程度而言，富裕的城市借由将这些污染转向下游或下风处的邻近地区来“解决”问题，但最后证实这种做法并不实际，因为邻近地区开始学会利用政治或法律手段来防堵。大体来说，城市并未解决那些只会威胁到散漫、缺乏组织或实力不足的社区之污染问题。

富有国家的城市花了大约一个世纪的时间，才针对城市化污染效应做出具有部分效用的因应措施。贫穷国家的城市并未遵循同样的路径。在许多案例中，城市的增长速度过快，伴随而来的经济增长却不足以负担洁净水源与垃圾处理的费用。西欧、日本与北美（约在1870—1920年）的公共卫生革命来得太晚，巴西与其他南美国家则是不甚完整，而在孟加拉国、巴布亚新几内亚则是几乎未曾发生，尽管20世纪90年代当地城市化速度堪称全球第一。1950年后在世界各地蓬勃发展的临时搭建的贫民窟，也几乎未曾出现这样的革命。[34]因此在20世纪后半期，贫穷城市源自家庭废弃物的污染持续加重。除此之外，贫穷城市很快便出现来自工业与大量小汽车、卡车与巴士的污染问题。1980年的雅加达，还有1990年的孟买，都面临了富有国家从未出现的双重污染负担（1820—1860年出现的首批工业城市除外）。只有少数社会有能力累积足够资

本，赶在污染恶化前进行相关防治投资。就算在这些地方，执政的精英阶级通常也认为隔离污染要比降低污染简单得多。因此城市依然是污染的集中地，拜疫苗、抗生素及其他公共卫生措施之赐，虽然污染规模更大，但致死率却远不及过去。[35]

城市的生态足迹　1900年，城市本身可能占地表面积仅0.1%，到了1990年已将近1%。[36]然而空间的增加只是其环境影响的一小部分，因为它们的触角延伸得既远且广，引进食物、水源与能源时，有时还会跨越不同大陆。支撑一个城市并吸收其废弃物所需的空间，用比喻的说法也就是所谓的生态足迹。[37]

数千年以来城市都是生物学上的奇特现象。它们成为适合猫、老鼠、鸽子以及小部分野草的栖息地，但它们也被剥夺了大部分的其他动植物生态。这到了20世纪略有改变。每个像1936年的伦敦那样设立“绿化带”（green　belt）的城市，或是像20世纪30年代的安卡拉那样规划绿色空间的城市，有些反而失去了原本既有的绿色空间，像1950—1990年墨西哥市就是这样。[38]或许最大的生物变迁，就是马匹、骆驼、驴子以及其他载重动物从城市中逐渐消失。

相对于生态层面，就体质方面来说，城市常会出现根本的变化。在富有的国家，早在20世纪初便因为有便宜又高质量的钢铁而得以兴建摩天大楼。电气化也带来众多变化，尤其是电车（1887年发明于弗吉尼亚州里士满）在19、20世纪交替之际促进了郊区化（suburbanization）。接着车辆取代了马，巴士也让电车几乎绝迹。电气化、污水系统与自来水让城市的底层挤满了隧道、电缆线与水管。欧洲与北美的城市直入天际，向地下发展，同时也在地表上蔓延。在1870年，大部分城市都是靠肌力维系：所有流通的食物、用水、废气与信息都是由人工或马匹所运送。到了1920年，世界上富有地区的城市（还有少数其他地方）都成了科技网络交织而成的极度复杂系统。并非巧合的是，它们是现代经济的发电厂，也是现代主义艺术与文学的温床。[39]

这波城市建筑环境的变化，出现在1880—1940年的富有国家。在短短几年或几十年后，这股趋势也发生在孟买或突尼斯这样的殖民地城市。为了符合出口经济的需求，许多殖民地城市都取得了现代化基础建设——港口、仓库、铁路与道路。有些还兴建了卫生基础建设，不过通常只针对城市中欧洲人或日本人所居地区。英属新加坡便遵照这种模式。新加坡的欧洲区、华人区与马来区之间的分别造成了民怨，或许也因此导致1960年新加坡独立后，一心一意要创建一个整齐而卫生的环

境。汉城在1910年落入日本统治时，当地脏乱与污染让日本人大为震惊，不过情况很快便受到控制。[40]

1950年以后，世界上所有地区的城市都日渐扩散到邻近地区。在美国，1945年后郊区化成了城市生活的主要趋势。到了20世纪80年，15个大都会区约有2/3人口住在人口密度较低且必需依赖汽车往来的遥远郊区。便宜的土地、汽车、汽油与房贷再加上联邦税法，让一切更加便宜，造就了这种独特的美国生活模式。[41]在其他地方，郊区的扩张通常是因为有政府出资的公寓小区，更常见的则是临时搭建的贫民窟。1990年德里面积是1900年的13倍，城市扩张过程中吞没了数百座村庄与无数的农田。仅在20世纪90年代北京就变大了两倍。[42]不论是优雅的绿地、购物中心或临时搭建的陋屋，郊区的扩张通常都牺牲了农田。不过当有数亿人参与这些带有重大社会意义的变革，直接纳入的土地却只有数百万公顷，面积相当于哥斯达黎加或美国西弗吉尼亚州。

然而，城市发展对水源、土地与生命都会带来翻天覆地的影响，因为城市有其代谢作用。城市引进水、食物、氧气（以及更多），并排出污水、垃圾与二氧化碳（以及更多）。快速发展的城市就像青少年一样，新陈代谢要比那些停止生长的城市更快。以香港这个巨大城市每日所需来看，1830年香港还是一个杂草丛生的小村，后来因第一次中英鸦片战争（1839—1842年）而落入英国控制达150年，期间香港发展成中国通往外界的主要渠道之一。1900年香港人口为25万，到1950年逼近200万。1971年人口达400万的香港，每天城市代谢所需流量惊人（见表8.3）。香港食物供给有7/8来自外埠，淡水有四分之一引自中国内地，而中国内地则每天接收香港40吨人类排泄物（作为肥料）。要维持像香港这样的大城市，还有像北京或圣保罗这样更大、工业化程度更高的城市，在行政或工程方面都是极为浩大的。[43]

表8.3 1971年香港每日代谢作用

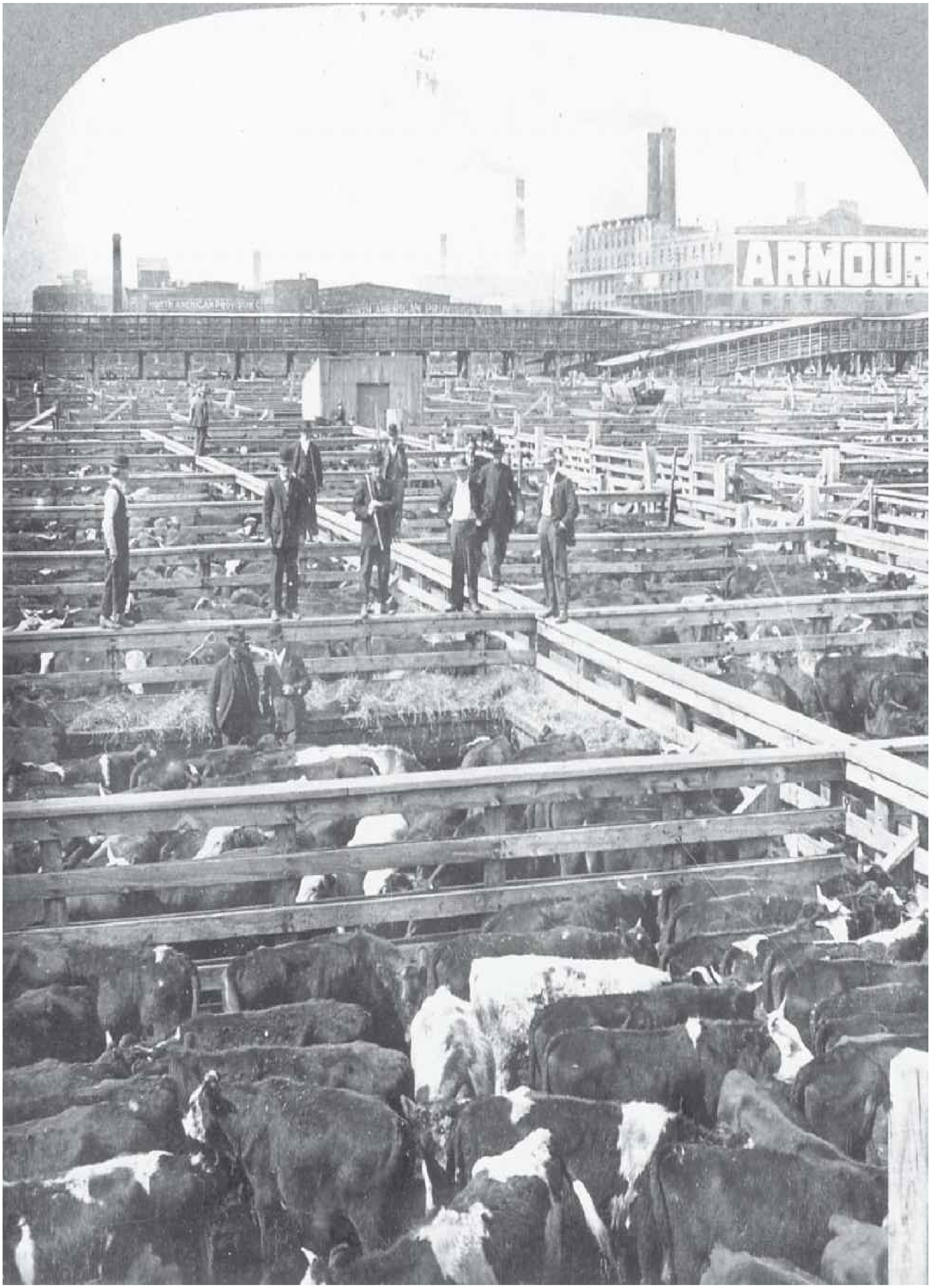
流入（单位：千吨）		流出（单位：千吨）
27	氧气	0
0	二氧化碳	26.5
0	一氧化碳	0.16
0	氧化硫	0.31
0	氧化氮	0.12
0	落尘	0.04
1068	淡水	819
0	污水	819
6.3	食物	0
11.7	汽油	0
0	厨余	0.8
0	污水渣滓	6.3
18	各种货物	8.1
0.53（8827人）[a]	人	0.52（8632人）[a]

数据源：Boyden et al.1981：116–7

注a：Boyden的人数乃假设每人平均体重60公斤计算而得。

香港的雨量相当充沛。要确保其他城市水源供给无虞，则需要更强有力的措施，尤其是对现代城市的物理特性而言。城市的屋顶与道路让水无法渗入土中，因此增加了地表的径流。像芝加哥这样1850年仍是浸

在水里的大草原这种大城市，需要改变四周水路的水文状况，尤其是洪水机制。这通常需要大规模工程计划才能应付。[44]1990年墨西哥市使用的水量是1900年的30～35倍，1900年即因含水层水分流失而缓慢下沉，在1940—1985年当地海拔最多下降了7米（各地不均），进而损害建筑根基与城市的污水系统。孩子们会顽皮地在井管上标示身高，看看到底是地表下沉得比较快，还是他们的身高长得比较快。到了1960年，墨西哥市必须自墨西哥谷之外征用地表水源，最后竟造成墨西哥最大淡水湖湖面下降。全球有数百个城市都利用政治影响力来取用远方的水源，通常牺牲的是生活在内陆腹地的人们、牲畜、作物与鱼类。[45]


ARMOUR

图为1909年左右芝加哥围栏场牛群聚集等待屠宰的景象。1865年当地将围栏与屠宰场集中在同一地点，产生的废弃物与内脏造成了特别的污染问题。芝加哥河南部支流将围栏的废弃物带入密歇根湖，直到1900年芝加哥人改变河的流向并将污水导入密西西比河。菲利普·阿穆尔（Philip Armour）便拥有其中一座大型肉类加工厂

发展中的城市也需要木材、水泥、砖头、食物与燃料。在铁路时代来临之前，这些都需要船只运送，不然就是来自邻近地区。有了铁路与卡车之后就可以从远方取材，但环境效应也因此扩及内陆腹地，进而扩大了城市的生态足迹。到了1900年，芝加哥给北美心脏地带广大地区的木材、牲畜、谷物与其他水果带来了巨大的影响。1916年诗人卡尔·桑德堡（Carl Sandburg）称芝加哥市是“全世界的杀猪屠夫、小麦的堆高机”，当时那里每年有1500万～2000万头猪与牛被屠宰成为肉品。北美自得州、俄亥俄州到蒙大拿州这片广大地区都开始畜养牲畜，因为芝加哥的肉品包装业者为所有肉品找到了销售出路。同样地，芝加哥的谷物交易商也让大草原变成玉米与小麦种植带，而芝加哥的木材商则鼓励了五大湖盆地北方林地的砍伐。少有城市能像芝加哥这样带动并加速乡间生态的转变，但每个城市都会对四周环境带来重大影响。20世纪80年代，德里从700千米之外的森林进口薪柴。大约1990年左右，温哥华的食物与燃料供应必须相当于该市面积20倍的地区才足以供给。1960年之后，大部分城市都从数千千米外进口汽油：波斯湾成了数千个城市的重要腹地。[46]

结论

在导致20世纪环境变迁的各种因素当中，城市化加上人口增长与迁徙是最强而有力的。在20世纪当中影响了数十亿人繁衍行为与地理迁徙的个人与政治抉择，为环境变迁带来动力与方向。但这些选择均未自觉地将环境纳入考虑。城市快速发展，并转变为人口学上足以自立的实体，不但是人类历史也是环境史上一大转折点。几个世纪以来，城市主宰了政治生态与上流文化，但到20世纪已成为人类共同的居住地。这样的转变改造了城市本身，而不断扩大的城市也进化成物资、能源与废弃物的新组合。城市也重新塑造了大部分的乡村地区，越来越多的地方为满足城市人口需求而改变。

城市的扩张源自移民与人口增长。乡村移民不止移居到城市，有时也迁徙到新的乡村地带。他们通常是受到政治计划的鼓励或强制，而到

新土地上创建新家园。他们带来新的知识与做法，并将之应用在新环境中，进而造成异常强烈的环境效应。人口增长常被认为是环境破坏的主要原因，但这种说法可能只适用于某些状况。然而，要精确评估人口增长所扮演的角色几乎是不可能的，尤其考虑到它在带动迁徙、城市化、科技变革、政治活动与其他各种事物方面的直接影响。

[1]人口转型会使生育及死亡率降低30‰～35‰（每年）到10‰～12‰。

[2]Boulding 1964：135–6。身为贵格教派信徒的经济学家博尔丁（1910—1993），通常并不热心主张严格限制自由。

[3]如果不以地区呈现，而以宗教或人均国民生产总值（GNP）区分，数据就会有所不同。然而因为20世纪中这些指数已大幅改变，因此这样做并不实际。

[4]Turco 1997：105。蚂蚁与我们之比大约为4∶1。

[5]这些数据来自RIVM 1997。

[6]这种计算方式之所以粗浅，有几个理由。这有关全球总量，且忽略了人口增长有可能发生在二氧化碳排放并未增加且两者并无关联的地方。这种计算方式假设两者间有线性关系，但事实上的确有人口增加数量若低于此则差异不大、高于此则有所差异的临界值。很遗憾的是，这些变量并不构成符合逻辑的数学关系。

[7]这些数字差异如此之大，原因在于1890年后西欧与美国人口增长趋缓（以全球标准而言），而二氧化碳排放则（相对）较高。在人口增长也相对趋缓的日本与俄国，1880年二氧化碳排放也非常缓慢，因为这两个国家才刚刚开始工业化。Harrison（1992）针对1961—1988年进行了类似的计算，结论是人口占碳排放增长44%。就这几年来看，当人口增长达到高峰而碳排放增加趋缓（1975年以后）时所占比重最高。Ogawa 1991以及Darmstadter and Fri 1992研究了1973—1987年，对人口增长角色的评价更高。在这些年里，能源效率提升加上每单位能耗的碳排放减少，使得每年碳排放减少1%，但这却受人口（每年增加1.8%）与经济增长（每年增加1%）的冲击而抵销。这15年间人口增长非常快速，而（至少以1945年后的标准而言）经济增长缓慢，因此就像Harrison的数据，以自己的标准来说它们的确有所帮助，但就整个20世纪来说并没有用。相关的其他计算方法包括Raskin（1995），认为人口增长占1950年到1990年二氧化碳排放增长32%；McKellar et al.1998：120–35概述了所有这类计算的缺点。

[8]Lee and Feng 1999概述了中国相当特别的人口趋势。1978年之后的人口政策，让1998年原本预估的中国人口数量减少了2.5亿人。20世纪60年代增长率将近每年3%，但70年代掉到2%以下。1996年中国每年人口增长率为1.1%。Smil 1993探讨了近代中国的污染与人口。

[9]有关爪哇请见Repetto 1986，其中指出（1911—1983年）侵蚀率在人口压力下增为原来的6倍。有关摩洛哥北部请见Maurer 1968；有关劳工短缺与侵蚀，请见Barker 1995、McNeill 1992b以及Mignon 1981。第1章曾介绍马查科斯山的故事。有趣的是，20世纪30年代Jacks and Whyte 1939：286–7以日本与爪哇为证（但承认印度与中国为例外），主张密集人口是防止土壤流失的最佳做法！

[10]有关现代人口与水源议题的讨论，请见Falkenmark 1996。与我概略的计算结果相比，作者似乎认为人口是个重要因素。如果是这样，如此的差异可能是因为20世纪90年代人口增长（Falkenmark作品中所隐含的参考点）高于20世纪的平均数字。

[11]有关埃塞俄比亚，请见Campbell 1991、Grepperud 1996以及McCann 1997。马达加斯加流失400万公顷森林（1900—1940年），但同时人口却停滞甚至可能减少。经济作物（尤其是咖啡）取代了森林（Jarosz 1993）。Kummer 1991：146–9的结论是，近几十年来人口增长在菲律宾森林砍伐扮演的角色并不重要。

[12]Palloni 1994：160.

[13]Repetto and Holmes 1983试图以数学证明，人口在自然资源耗竭上所扮演的角色其实很有限。（主要使用20世纪70年代数据。）Myers 1993提出了人口增长“可能主导环境问题”的看法。

[14]这里的沙漠化指植被覆盖与土壤中有机质含量逐渐流失。这个过程并不一定是无法恢复

的。

[15]Baines 1995；Thumerelle 1996：106–7.

[16]Klein 1995：211.

[17]Zolberg 1997：288.

[18]Treadgold 1957：159–61。Chesnais 1995：221指1801—1914年从俄国欧洲部分越过伏尔加格勒河迁居的总人数为580万。其中有80%为自愿，20%为内部流放。

[19]移民数据来自Polyakov and Ushkalov 1995。Zemskov 1991指出，光是1930—1931年便强制180万富农移居。Andreev-Khomiakov 1997：27–38对20世纪30年代伐木所造成的破坏有着饶富趣味的描述。

[20]见Geertz 1963。

[21]Knapen 1998.

[22]火耕指农民烧毁森林，然后以灰烬种植作物，收获一到三年后便迁移到别处重复这个过程。日后他们（或其他农民）可以回到原来地点再加以利用，但必须间隔10～30年时间，这样土地才有时间长出足够的植被，火耕时才能释放出足够的养分。

[23]Abdoellah 1996；Hardjono 1977,1988；Levang and Sevin 1989。Rich 1994：34–8探讨了世界银行的角色。

[24]请留意这种说法有其限制。巴西与印度尼西亚热带森林遭到砍伐，除了移民还有其他原因（见第7章）；这些国家的移民属于自发性，但官方也有所协助；不论是殖民期间或其后，非洲境内的跨国移民的确将森林变为农田（但程度较不严重），尤其是在非洲西部。有关非洲西部森林区的迁徙状况，请见Cordell et al.1996。

[25]Macfarlane 1997：22.

[26]有关奥地利与巴伐利亚，请见Hohenberg and Lees 1985：259以及Munch 1993。有关中国请见Lee and Feng 1999。这个转变可能先从日本开始（Hanley 1987）。20世纪80年代的波兰是20世纪城市人口寿命增长趋势中少数几个特例之一，因为当时的严重污染造成城市居民寿命较短。

[27]Berry 1990：104–6；WRI 1997：8–9.

[28]有项统计显示（Clark 1998），到了1996年全球已有半数地区城市化。

[29]Berry 1990、Douglas 1994以及Gugler 1996中有略带历史思维的一般性探讨。

[30]WRI 1997：152–3有1980—1995相关数据。

[31]Hanley 1987指日本城市早在17世纪便开始收集垃圾。

[32]有关苏拉特请见WRI 1997：42–3。

[33]有关纽约的垃圾掩埋场（1994年规模为吉萨金字塔体积的25倍），请见Trefil 1994：23。Basu 1992描述了加尔各答的垃圾习性。有关美国的做法，请见Melosi 1981。

[34]Abreu 1988：106,125–6追踪了里约热内卢贫民窟的成长与型态；同时请见Pineo and Baer 1998。

[35]Hardoy et al.1993有1990年初期状况的调查。

[36]Douglas 1994提供了1990年的数字。我计算1900年数字的依据是，城市人口占全球人口的1/3，大城市人口占1/4，且1900年人口密度略高于1990年。

[37]请见Rees 1992。

[38]《华尔街日报》（The Wall Street Journal,4 March 1993）报导，20世纪50年代墨西哥市树木覆盖率为21%，1993年则为2%。有关安卡拉，请见TürkiyeÇevre Sorunlarl Vakfl1991：50。

[39]1990年纽约市有7.2万千米的地下线缆、水管与导管（Konvitz 1985：139）。有关美国与欧洲城市的环境变迁与城市形态，请见Ausubel and Herman 1988、Gugler 1996；Hurley 1997；Melosi 1990、1993；Platt 1991；Relph 1987；St.Clair 1986；Vance 1990以及Whitehand 1987、1992。有关拉丁美洲城市，请见Pineo and Baer 1998。

[40]有关新加坡请见Ho 1997 and Yeoh 1993；有关首尔请见Duus 1995。其他提及殖民地城市的有用研究包括Abreu 1988（有关里约热内卢）、Coward 1988（有关悉尼）、Kosambi 1986（有关孟买）以及Low and Yip 1984（有关吉隆坡）。

[41]Jackson 1985.

[42]Hardoy et al.1993：115.

[43]Boyden et al.1981。有关北京，请见Sit 1995。

[44]NRC 1992：22。以全球的标准而言，1990年芝加哥是个植被茂盛的城市，总面积只有45%是水无法渗透的。当时马德里或大马士革的比例则较之高将近2倍（根据估计）。

[45]有关墨西哥市，请见Ezcurra and Mazari-Hiriart 1996、Pick and Butler 1997以及WRI 1997：64–5。Simon 1997：60–90有生动的细节。Romero Lankao 1999是我写完这些内容之后发现的一本重要著作。城市取用乡间水源的情况，最严重的是干旱的亚洲与非洲地区。从毛里求斯到蒙古，可靠的水源供给通常赶不上现代化发展的速度。有关突尼斯对突尼斯乡间水源供给的影响，请见Omrane 1991。有关撒哈拉沙漠以南的非洲地区，请见Vennetier 1988。

[46]芝加哥的角色在Cronon 1991中有详细的描写。芝加哥的家畜围栏在20世纪30年代减少，最后到了70年代则完全消失。但从1865—1960年（大型精肉业者离开了芝加哥）这些围栏为少数人赚取了大笔财富，提供了众多工作机会，并在城市的南部制造了独特的污染问题。见Roberts 1994：318（关于德里）以及Rees 1992（关于温哥华）。

第9章 燃料、工具与经济学

对于那些曾让他们深深感到恐惧的事物，人类急切地想要将它踩在脚下。

——卢克莱修（Lucretius），《物性论》（*De Rerum Natura*）

在20世纪，有更多人通过新的能源、工具与商业关系来操控环境。能源、科技与经济制度紧密地联结在一起，同时进化并相互影响发展方向。能源、机械及生产方式的各种新组合碰撞在一起，相互配合并重新调整了社会与经济。借用科技史上的词汇，我将这些在组织及社会方面同步发生的科技创新称为“群聚”（cluster）。早期的工业群聚乃围绕着水力带动的纺织厂而兴建，后来则是建在工厂与蒸汽机附近。19世纪中期后，煤炭、钢铁与铁路兴起成为主要群聚，也就是工业城市里的重工业。为了纪念狄更斯小说《艰难时世》（*Hard Times*，1854年出版）里面的Coketown，我将之称为“煤炭城群聚”（coketown cluster）。到了20世纪20年代与30年代，下一个群聚开始结合，并主宰了40年代（在第二次世界大战助长下）到90年代这段时期：装配生产线、石油、电力、汽车与飞机、化学品、塑料与肥料，全都由大企业一手安排。我称之为“汽车城群聚”（motown cluster），以纪念底特律这个全球汽车制造中心。煤炭城群聚与汽车城群聚都带动了北美、欧洲与日本大企业的兴起，而这些大企业所享受到的相对效率与回报，也反过来帮助群聚进步，科技系统与商业结构也因此同步进化。

这些群聚，还有伴随而来的社会、经济学与环境快速变迁，影响了整个世界，但各地程度不一。主要创新中不成比例的比例是来自美国、欧洲与日本，所创造出来的财富与权力也都集中在这些地方。但这些群聚在生态上所衍生出来的效应，可说以同样方式传遍各地。

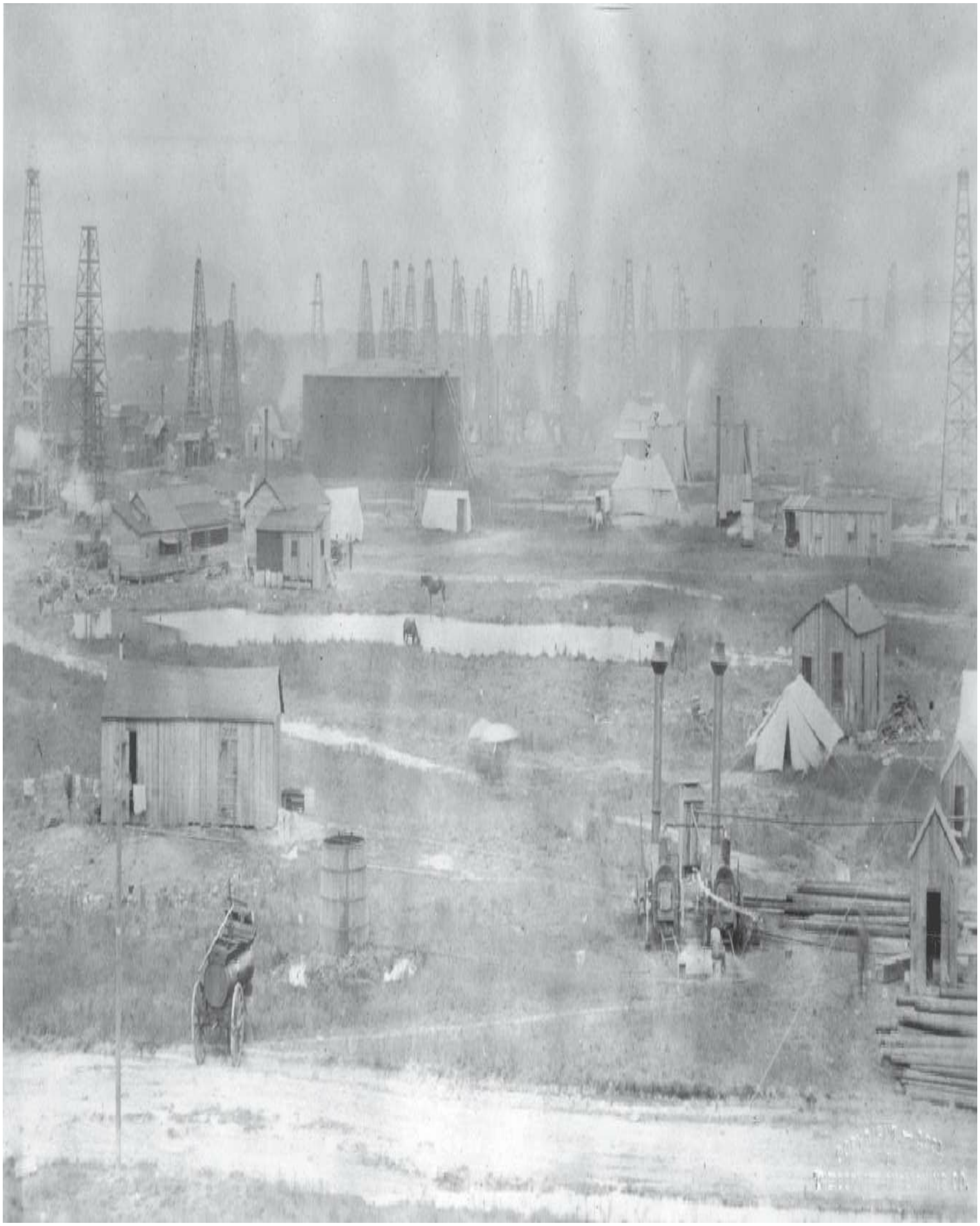
能源机制与环境

每个社会都有其“能源机制”，也就是收集来自阳光（或铀原子）的能量，加以管理、储存、购买、出售、使用或浪费、最后消失殆尽这整个过程中的所有安排。20世纪时，大部分社会都牵涉好几种不同能源、转换模式、储存与使用方式的复杂能源机制。除了煤炭、风力与肌力，20世纪还多了石油、水力发电与核能。

在大多数的情况下，20世纪主要使用以煤炭与石油为主的化石燃料。这两种燃料在世界各地的分布都相当不平均，因此兴起了一种大型行业来开采、运输、处理并运送化石燃料至终端使用者手上。煤炭与石油的开采是相当肮脏的行业。石油的运输比煤炭运输更脏乱。在终端使用方面（也就是燃烧），煤炭则比另两种燃料更脏。煤炭开采、燃烧以及矿砂与灰烬的处理[1]，对土地、空气、雨水都带来明显影响。但因为石油有更多的用途，可以以更有效率的成本配送到更广大的地区，它所带来的污染也遍及世界各地，而煤炭只集中在数千座矿区、熔炉与蒸汽机附近。第2与第3章已经处理过燃烧化石燃料造成的污染问题。这里我将只讨论一种化石燃料的开采与运送——石油。

1820年后全球经济越来越依赖非肌力所能完成的工作。到1950年尚未运用各种能源的社会，都注定走向贫穷。能源用量大幅增长，以至于能源机制的选择成了全球环境现状的主要决定因素。1820年后趋势逐渐转向化石燃料。在此转变趋势中还有一项转变，就是主流从煤炭转向石油。到了1930年，石油取代煤炭成为全球主要运输燃料，而到50年代更取代了煤炭在工业中的地位。1901—1925年，美国率先尝试了这种能源发展路径。对全球环境史来说，少有其他事物像石油的成功这样具有重大影响力。

石油开采　在19与20世纪交替之际，石油还无足轻重，主要的用途是作为灯油。但很快，汽车、船只与后来的飞机及火车都开始使用石油产品。取暖用的燃料有很大一部分是来自石油，后来的塑料、合成纤维与化学制品的原料亦然。大体来说，美国在1910—1950年率先改用石油，对煤炭有较强政治依恋的西欧与日本，则大约在1950—1970年跟上潮流。[2]1973—1984年的高油价，让石油开采特别具有吸引力。这导致了一股在全球各地寻找石油矿藏的热潮，四处开始兴建大规模的油井、油管、油槽与炼油厂网络，用来装载与处理原油。



美国得克萨斯州的纺锤顶（Spindletop）在1901年是美国油源开采历史上第一个大型喷油井，打开了世界环境史的新纪元。廉价的能源大幅提升了人类改变环境以及取得廉价能源的能力，无论在纺锤顶或其他地方，而且势必完全改变当地的环境

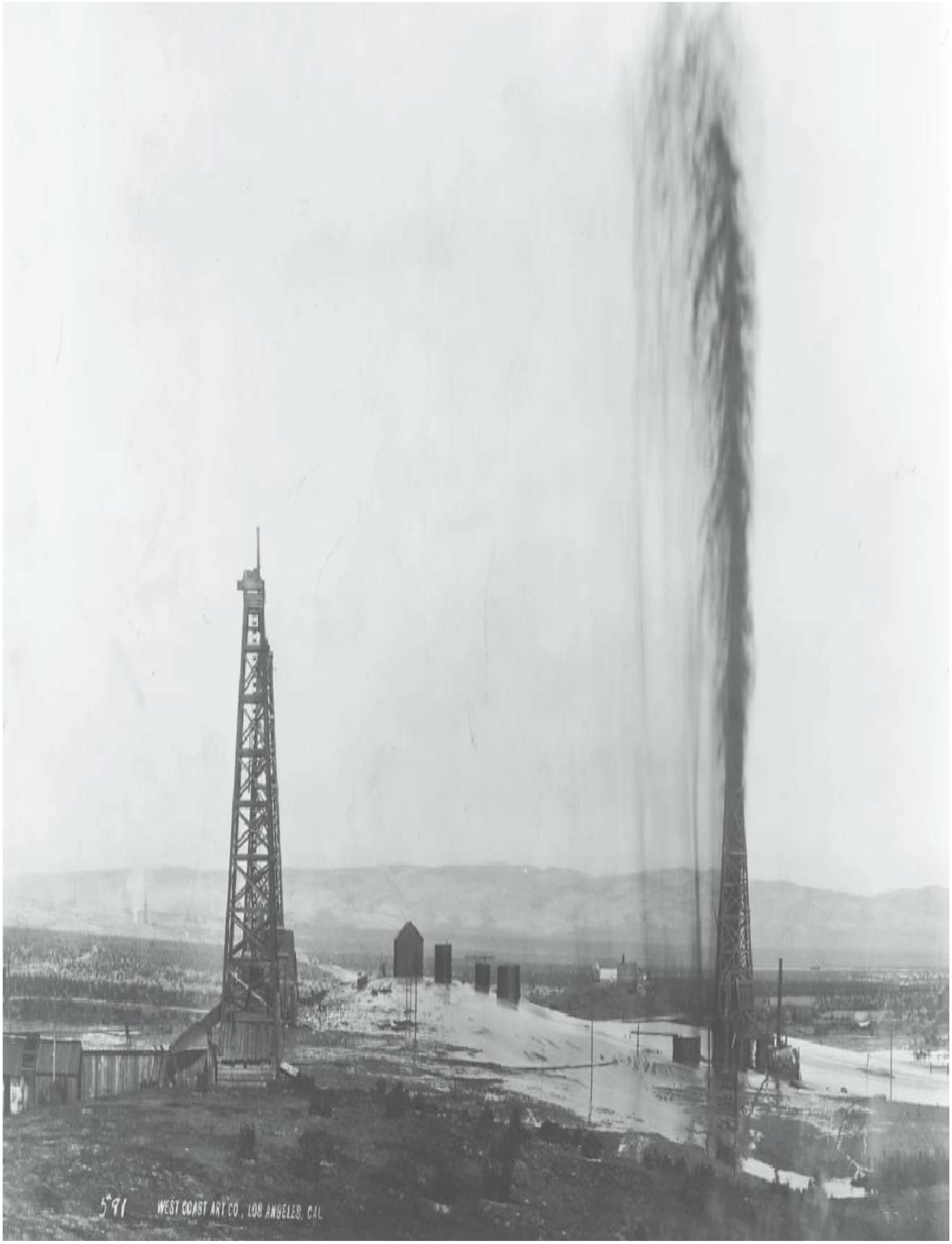
虽然在硬岩层钻井探勘石油始于美国宾夕法尼亚州，但首座大型喷油井是19世纪70年代在里海巴库（Baku）附近发现的。19世纪与20世纪之交，俄国是全球石油产量最高的国家。罗马尼亚与荷属东印度也冒出了许多钻油井架。接着在20世纪开始的第10天，在得州东部纺锤顶出现了美国第一座石油矿藏。美国石油业者在各地开钻油井，首先在得州、俄克拉布荷马与加州，接着扩及全球。一个新的时代就此慢慢揭幕。

当时开钻油井是相当肮脏的行业，尤其是在墨西哥。墨西哥湾沿岸维拉克鲁斯（Veracruz）的雨林地下蕴藏了石油。[3]这里的资金来自美国与英国企业，设备多半是来自得州的二手货，劳工则来自得州与当地的瓦斯特克族（Huastec）与托托纳克（Totonac）族印第安原住民。对石油业者以及后来继任的墨西哥政府来说，雨林实在落伍且毫无用处，在新世纪里显得不合潮流。1906年，这里开始了大范围的石油开采。

随着墨西哥革命爆发（1910—1920年），野心勃勃的新领袖认为石油能带领墨西哥进步。支持者认为，如果以石油及石油业者取代雨林及印第安人，维拉克鲁斯北部应该可以养活4000万人。正如寇松勋爵（Lord Curzon）所说，第一次世界大战也助长了这股趋势："同盟国趁着石油这股浪潮取得胜利。"[4]其中有许多来自坦皮科（Tampico）。拜战争需求、俄国革命与动乱之赐，1915年墨西哥石油产量为全球第三，1919年为全球第二。墨西哥石油业的繁荣景象在1921年达到高峰。

几乎在一夜之间，石油改造了维拉克鲁斯北部的生态与社会。1897年的坦皮科还是个四周布满沼泽的港口。到了1921年，当地有58家石油公司、16座炼油厂、24家律师事务所、6家面包店、77家出售酒类的店面，人口将近10万。[5]邻近地区有数千座油井与油池，还有足够的油管（长达4000千米）将油输送到哈德孙湾或智利。漏油、爆裂与火灾事件虽苦了瓦斯特克族与托托纳克人，却是石油业者生意的必要之恶。他们的确很高兴挖到油藏，但根据该国内政部所说，石油业却"毁坏"了土地。[6]

这是油商最爱的一幕，摄于南加州1910年左右的一个喷油井。随着20世纪初石油成为20世纪主要能源，油商们一夜暴富。一片兴奋的气氛下，很少有油商会去顾虑开采石油对景观的影响。



这是油商最爱的一幕，摄于南加州1910年左右的一个喷油井。随着20世纪初石油成为20世纪主要能源，油商们一夜暴富。一片兴奋的气氛下，很少有油商会去顾虑开采石油对景观的影响。

抗议者像是瓦斯特克族与托托纳克族墨西哥印第安原住民，也无力阻止开采。早期的石油工业是肮脏的工作，无论在加州、墨西哥、俄罗斯或其他地方，但石油燃烧所制造的空气污染远低于煤炭

这样的繁荣景象，到了20世纪20年代初期开始退烧。盐水渗入油田，让石油开采与炼制变得更为复杂。美国与委内瑞拉油田的产量开始超过市场容量。1938年墨西哥政府将石油业收归国有，并禁止原油出口。对此举动愤愤不平的外商因而抵制墨西哥石油。当地产量因此下滑，许多油田附近再度长出森林。老旧的钻油井架兀自矗立，好比丛林里的玛雅金字塔。

这种大起大落的模式在全球各地上演。美国的油田肆无忌惮地污染了得州与俄克拉布荷马的土地与水源，直到1924年通过反污染法才稍见收敛。[7]1928年委内瑞拉成为全球第二大产油国，到1946年跃升为最大出口国。马拉开波湖（Lake Maracaibo）是南美最大湖泊，1918年后成为委内瑞拉石油生产与炼油中心，却因此成为布满油污的沼泽。[8]苏联开始开采西伯利亚丰富油藏后，位于巴库（阿塞拜疆）附近的早期油田也成了油腻腻的死水，只留给阿塞拜疆北部污秽不堪的水源污染残余物与废气井架。不过全球最主要的石油矿脉位于波斯湾附近。这里开采的环境特色是人口稀少，附近生物也相对稀少，有助于减少石油泄漏的生态代价。

1973年石油输出国组织（OPEC）限制石油生产，无意间打开了石油探勘与开采的新纪元。1979年伊朗革命带动油价上扬，再加上非石油输出国组织国家加速石油开采与生产，在阿拉斯加、埃布尔达、波斯湾、北海、安哥拉、厄瓜多尔尔以及西伯利亚西部（规模尤其之大）等地也都鼓励从事石油业。[9]石油输出国家组织的高油价，塑造了1973年到1985年的世界经济史，进口石油的工业国家因此衰退，部分——并非全部——石油出口国则国力增强。石油与天然气价格居高不下有助于苏联的兴起。而石油输出国组织的作为也塑造了环境史。首先，高油价鼓励工业国家推行节能，其中又以日本为最。再者，到了20世纪70年代，随着厂房、油管与炼油厂大兴土木与漏油事件，石油生产所带来的环境冲击在全球各地扩大。高油价也诱使尼日尔利亚等国开始藐视石油输出国组织的规定。

尼日尔利亚的原油蕴藏在尼日尔尔河三角洲，该地1990年约有600万人口。皇家荷兰壳牌石油公司（Royal Dutch Shell）与英国石油（British Petroleum）两家合称壳牌英国石油（Shell-BP），过去即从英

国殖民政府手中取得探勘执照，并在1956年发现油矿，60年代开始生产石油。1965年壳牌英国石油在哈科特港（Port Harcourt）建造了一座炼油厂，对当地石油生产起了带动作用。1967—1970年，尼日尔利亚因东南部［比亚法拉（Biafra）］寻求分离并取得境内石油相关营收而爆发内战，当时壳牌英国石油押对宝，支持获胜的中央政府。20世纪70年代石油价格飞涨之后，尼日尔利亚佯称遵守石油输出国组织规定，同时壳牌英国石油却持续开采石油。石油开采权利金丰富了国库，贪腐也因此成为20世纪80年代尼日尔利亚最出名的现象。漏油事件以及刻意破坏，污染了整个三角洲，危害了鱼群与当地人所经营的农场，其中又以奥贡尼族（Ogoni）受害最深。[10]他们以环境申诉为主要要求的抗议与反抗行动，招致了威吓、暴力，族里的精英也遭到示众公审，甚至处决。到了20世纪90年代，尼日尔利亚军政府有80%～90%的收入来自石油，统治者也从中牟利累积个人财富。他们无法容忍挑战，尤其是渔民、农民以及少数民族。1992年联合国宣布尼日尔利亚为全球生态濒危度最高的三角洲。壳牌英国石油极不情愿地成为各界检视与国家压力的目标，并在1995年开始解决环保等方面的申诉。[11]然而到了20世纪末，尼日尔河三角洲就像一开始的坦皮科一样成了牺牲品。奥贡尼人就像瓦斯特克族与托托纳克族一样，无力对抗那股创造并维持20世纪能源机制的强大力量。



10. 自1900年以来的主要油田

石油运输　20世纪的能源机制需要大量石油运输，尤其是在缺乏石油的欧洲与日本改用石油之后。1970年后，包括所有男人、女人与儿童在内的全球人均石油运输量，随时都可达到5加仑的水平。这些石油大多数都能安全抵达目的地，但仍有少部分未能如此。在大西洋海战（Battle of the Atlantic,1942年1—6月）的6个月里，德国潜水艇击沉美国油轮，造成60万吨原油泄入海中。1945—1977年油轮吨位增长30倍，因此只要一次漏油事件便能造成严重损害，相当于潜水艇运作一个月。1967年大型油轮托利坎尼翁号（Torrey Canyon）在英格兰康沃尔（Cornwall）外海失事，造成12万吨原油流入英吉利海峡后，大型油轮漏油事件在全球各地海上航道相当常见。由于20世纪80年代油轮安全度提高，大规模漏油事件因而减少。新的法规还限制油轮在海上清洗油槽。因此到了1990年，人为造成海上漏油的总数量大幅减少。漏油清洗技术也日益提升。不过20世纪90年代大约每年会发生一次小规模的漏油事件，例如1989年埃克森瓦迪兹号（Exxon Valdez）油轮漏出3.4万吨原油至阿拉斯加海岸。而且，海中大部分的漏油并非意外造成，而是来自例行的倾倒与油槽清洗，因为这类作业虽有法律规范，却难以掌控。1990年以前人为造成的海洋漏油数量，是自然因素造成数量的10倍。[12]

油轮意外对海洋生物的伤害可能维持数月甚至数年。残余的生态影响最糟可能维持数十年。爆发在海上的井喷事件也是一样，最严重的一次发生在1979年，墨西哥塔巴斯哥（Tabasco）外海Ixtoc I钻油平台将60万吨原油喷入墨西哥湾，海上浮油面积相当于美国康涅狄格州大小且漂向得州。但井喷与油轮漏油事件是一次性事件，阳光与海洋终究会掩饰其行踪，让石油蒸发、分解并分散，使其浓度降低至无足轻重的水平。像维拉克鲁斯或尼日尔尔河三角洲的持续生产，或者是像西伯利亚这样持续出现地上油管渗漏，都会造成更多长远的环境影响，以及更多的社会与政治摩擦。[13]

石油对环境留下更大的印记，远超出钻油与运输所造成的污染。从石油所衍生出的石化产品，创造出新的物质，其中以塑料最为著名，这些物质在许多用途上取代了木材，但也增加了耐久性废弃物的数量。许多石化产品本身就是有毒污染物。石油为我们驱动汽车，但也附带了许多现象。汽车使得拖拉机与农场机械化得以实现。而且因为油价下跌，特别是在两次世界大战之间（1919—1939年），还有1945—1973年以及1984年之后，汽车对能源的应用具有强大的推波助澜效应，从剪草机到发电厂等各式科技，都对生态造成了某种程度的影响。对于一二十亿的

人来说，这样的能源机制使财富与生活的安逸程度，达到先前几个世纪不可能达到的水平。[14]它为20世纪带来了巨大的社会、经济与地缘政治后果。它污染了空气与水，造成的环境变化规模同样是过去几个世纪所不可能发生的。[15]至少就某一项估计数字来说，石油是塑造20世纪50年代以后环境史的一个最重要因素。[16]

科技变革与环境

一个世纪前奥斯卡·王尔德（Oscar Wilde）写道：

> 文明是需要奴隶的。希腊人在这方面是对的。若非有奴隶来做那些丑陋、可怕且无趣的工作，文化与沉思几乎是不可能的。以人类作为奴隶是错误、不牢靠且不道德的。至于机械奴隶，则是世界之未来所系。[17]

王尔德说的也没错：20世纪的确依赖机械。20世纪的科技与能源与经济的相关变革交织在一起，强而有力地主宰了环境变迁的速度与类型。

正如能源发展的途径，不同的科技发展轨迹代表了不同的环境后果。煤炭城群聚就代表了城市空气污染。汽车城群聚因为散布范围较广、速度又快且涉及能源密集度，因此影响较为广泛。任何一种科技都可能放大或缩小生态冲击，但在单打独斗的状况下，它仅能修正社会力量所带来的后果。另一方面，科技群聚至少能够发挥与人口或政治相当的影响力。让我们思考三种科技，其中一种以20世纪标准来说相当平淡无奇（电锯），一种则成为20世纪的象征与汽车城群聚的核心（汽车），另一种则是未来人类想起20世纪时会想起的（核反应堆）。

电锯　在实用型电锯发明前，伐木业的瓶颈在于需要大量人力来砍伐树木。在北美洲，每到秋冬森林里便会聚集大批人手，挥动着宽斧或拉动着横割锯。伐木区只在特定季节生气勃勃，一方面是因为在雪地及冰上拖动砍下的木材较为容易，而且在北美东部，人手、马匹与牛大多来自农场：收获过后的淡季才有剩余人力。在世界上一些难以找到充足

人手的地区，森林通常得以逃过砍伐命运。最基本的限制在于能源。人类肌力有其限制。电锯在森林里释放出化石燃料的能量，进而改变了北美等地的社会与生态景观。有个跨越时代且相当讽刺的现象是，新型机械让伐木业者得以利用源自古代植被（石油的来源）的能源，来砍伐现代的森林。

虽然电锯专利首见于1858年，第一件成品则出现在1917年，而真正带来影响则要到第二次世界大战后。战争带来了质量大为提升的气冷式发动机以及轻质材料（铝），结合之后便产生了以汽油为动力的实用电锯。在1950—1955年，电锯为北美的伐木与纸浆业带来一番革命。以加拿大东部为例，1950年仍以弓锯与斧头砍伐纸浆用木；到了1955年其中半数均以电锯砍伐，到1958年则全改为电锯。20世纪50年代木材与纸浆用木公司都必须机械化，因为农场机械化后已无季节性的闲置人工（与马匹）可供利用。很快又出现了状似“外星巨大昆虫”的更大型机械，可从根部绞断树木，因而取代了北美地区的木材与纸浆用木砍伐业。伐木工人一度被视为北美文化景观特色，但他们的时代也就此告终。[18]

在其他地方，电锯仍然算是尖端科技。电锯砍伐树木的速度是斧头的成百上千倍。没有了电锯，热带森林砍伐殆尽的现象要不是根本不会发生，就是速度会慢上许多，或者需要百倍或千倍的人工。有数百种与电锯同样平淡无奇的小规模科技，也改变了20世纪环境史，程度则有轻有重。

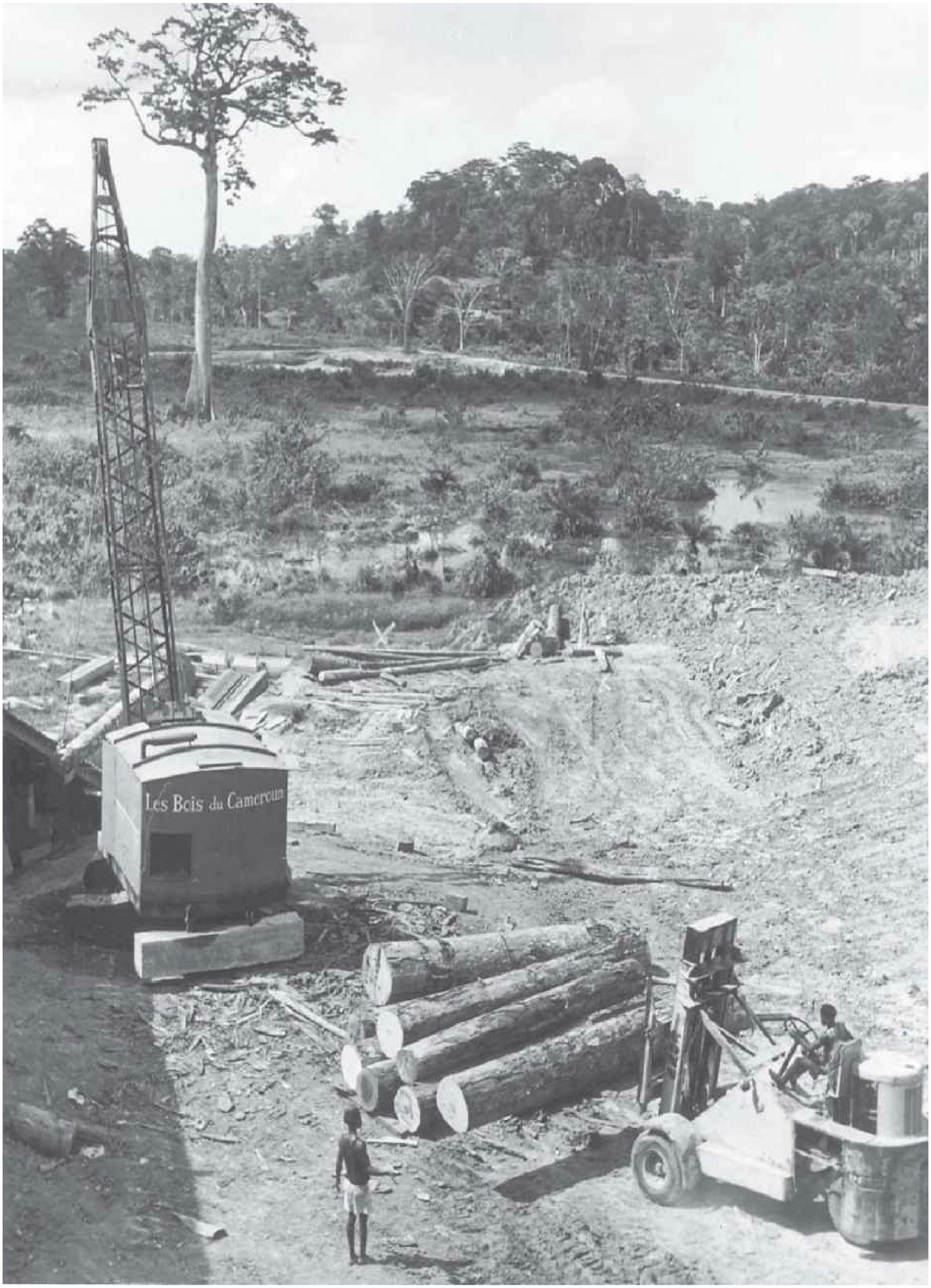


如果没有电锯或任何机械，图中这些1950年的工人要花上5天才能砍倒这棵位于喀麦隆的木棉树。之后还得花上3天切割与焚烧。他们之所以要清出这块非洲雨林地，是因为法国地质学家希望能找出地底蕴藏的钻石。20世纪下半叶，机械使伐木更为容易且快速。这张照片也捕捉到殖民地时期非洲的社会阶级差异

从铁路到汽车　运输科技所带来的变化更大。在19世纪末，大部分社会都同时仰赖铁路以及动物或人力所拉动的推车与马车。这样的运输机制有其环境影响。举例来说，美国的铁路破坏了森林。火车锅炉通常得燃烧木材。棚车以木材制造，有些铁轨也是。每隔几年即需更换的枕木，是所有项目中消耗木材量最大者。我们或许可以称火车头为铁马，但铁路其实是以木材为主的系统。当铁路系统快速增长（19世纪90年代），美国森林便面临遭到吞噬的命运。各界开始担心会出现木材荒，老罗斯福总统因此决定成立国家级森林主管机关，来分配国内剩余木材的使用。同样的恐慌为19与20世纪交替之际的美国保育活动注入生命，带动政界支持成立国家公园。铁路科技对美国森林带来无比压力，引发了社会与政治反应。但很快美国便发展出新科技，并同样引发了新反应。

有两种科技将美国森林从铁马的蹂躏中拯救了出来：矿物杂酚油（creosote　oil）与汽车。到了1920年，美国有半数的枕木都涂上了矿物杂酚油这种来自煤焦油的木材防腐剂，降低了更新枕木的需求。后来20世纪20年代美国铁路网络也停止增长，原因是汽车的问世。[19]

在取代铁路成为城市间往来的主要交通工具前，汽车先在城市中取代了马匹的地位。马匹就像铁路一样有其本身的环境问题。喂饱一匹马需要大约2公顷的土地，相当于8个人的口粮。在1900年平均每两个人拥有一匹马的澳大利亚，国内大部分的谷物都用来喂食马匹。1920年美国有1/4的农地种植燕麦这种马力运输的能量来源。供应的投入只是马匹问题的一部分。马匹排放在街道上的粪便重达数千吨，让城市充满刺鼻异味、苍蝇乱飞，肮脏又易滋生疾病。大城市每年得从街上清出1万～1.5万具马尸。1910年时，汽车多样化的吸引力之一来自其温和的废气排放量，以及保证能够解决马匹为城市带来的环境问题。到了1930年，马匹逐渐从城市绝迹。[20]


Les Bois du Cameroun

经由美国马歇尔计划提供重型设备给法国，殖民地时期非洲的伐木业效率突飞勐进。本图约在1950年摄于喀麦隆艾瑟卡（Eseka），当地有家法国公司从事木材出口。机械化伐木加上清空土地进行农耕，非洲西部雨林很快便在1950—1990年消失，是20世纪末热带雨林大灭绝的一部分

要举出20世纪在社会与环境上最能相对应的科技，汽车绝对是强势候选之一。1896年时汽车仍相当新奇，甚至连马戏团都用它来跟会跳舞的熊一起表演；到了1995年，全球已经有5亿辆汽车。汽车普及与其所造成空气污染的历史，第2与第3章已有提及。然而它们的整体生态冲击更为严重。汽车对燃料的需求助长了石油业。汽车的乡村近亲——拖拉机与小型卡车——为农业带来一番革命（第6章）。汽车与汽车文化更带来了许多需求与冲击。

制造一部车需要很多能源与材料。就20世纪90年代德国的汽车制造过程来说，每制造一吨重的汽车，会产生大约29吨的废弃物。制造一辆车所排放的空气污染，相当于一辆汽车行驶10年的排放量。汽车（大约1990年）需求占美国经济整体金属用量大约10%～30%。全球1/2～2/3的橡胶都用于汽车。光是这方面的需求，就成了造就苏门答腊与马来亚橡胶园的主要原因；对斯里兰卡、泰国、柬埔寨与利比里亚来说则是较次要的原因；此外它也是亚马孙雨林衰败的主因。[21]

汽车需要很大的空间。1900年美国开始布建道路网络时状况还好，但到了1990年已有500万千米的平面道路，是全盛时期铁路长度的10～15倍。兴建道路的热潮出现在1920—1980年，部分原因就是联邦政府从1916年起补助修路。在20世纪30年代，小罗斯福总统的新政安排数千名失业美国人参与道路修筑工作。道路网络增长最快是在40年代末期。现今遍布美国各地的州际道路系统可追溯至1956年。这所有的道路，特别是州际道路，就像磁铁吸引铁屑一样，招来了人潮、移居者以及商业发展，让幅员广大的美国迈入新的发展模式，汽车也因此对大多数成人来说变得不可或缺。尽管有些小国道路密度更高，但没有一个国家的汽车饱和度能像美国这样。总而言之，在北美、欧洲与日本，1990年汽车已占去当地国土面积大约5%～10%。[22]汽车占去全球地表1%～2%面积，相当于所有城市面积（两者之间有部分重叠）。

汽车带来的车祸也害死了许多人。在美国，1925年后每年有2.5万～5万人因此死亡，一个世纪以来总人数可能有200万～300万，是20世纪美国因战争死亡人数的5～6倍。在20世纪末，全球每年因汽车事故死亡人数约40万。然而，汽车相当便利且具有社会地位象征意义，因此还是令人无法抗拒，依然广受欢迎。[23]

核能发电的奇特发展过程　核能发电是一种不受欢迎也不经济的创新科技，它的致死率低于汽车，却有令人难以置信的生态意义。就像汽车一样，原子能起源于欧洲科学界，而在美国臻于成熟，然后再散布至世界各地（但各地程度不一）。首次由人类完成的自力维持核反应，发生在1942年芝加哥大学一处壁球场。当时美国正兴起一股制造核弹的热潮。1954年苏联开始出现民间核能发电，英国始于1955年，一年之后则是美国。核能发电像兴建水坝一样具有某种政治吸引力：它象征了国家的活力与现代化。美国原子能委员会主席刘易斯·斯特劳斯海军上将（Admiral Lewis Strauss）曾于20世纪50年代预测，到70年代核能将便宜到无须计价。这样的乐观心态助长了各国政府投资民间反应堆或协助私人公用事业从业者进行相关投资，其中又以美国、苏联、日本与法国为最。到了1998年，全球29国约有437座核反应堆运行。[24]但没有一座核能电厂符合商业效益：都得靠大量补助这种“疯狂”的经济手段才能生存。[25]英国在20世纪80年代末实施电力业民营化，却没有人要接手核能发电厂。关闭老旧或危险的核电厂代价高得吓人。许多核电厂均因各界担心发生事故而关闭。

始于1957年［英国文斯盖（Windscale）］的一连串灾害，在1986年（苏联乌克兰）切尔诺贝利达到高潮，堪称史上最严重的民用反应堆事故。在切尔诺贝利，人为失误造成电气火灾与爆炸，一座反应堆几乎全毁，很快就有31人死亡。切尔诺贝利事件并未公布相关的癌症死亡人数，受害的主要是80万名被强制参与善后行动的工人与士兵，还有甲状腺吸收了过多辐射的当地儿童。约有13.5万人必须永远离开家园，虽然后来还是有人不顾一切地回去了。官方表示辐射释出总数量为9000万居里（curie），是广岛与长崎原子弹的数百倍，而原爆过后造成的健康问题持续了数十年之久。当时北半球所有人都多少受到来自切尔诺贝利的辐射。对这次事故起初采取否认与掩饰的手段，成了压垮苏联的最后一根稻草。这彻底地改变了全球各地民众对核电厂的观感，特别是在欧洲，核能在政治上变得令人难以接受（除了法国与比利时等少数国家）。在欧洲以外，只有日本、韩国与中国台湾在切尔诺贝利事件后还对核能有兴趣。除了历史学家以外没人记得苏联，但核能留下的环境印记却挥之不去。有些核废料与一部分切尔诺贝利落尘，在事件发生2.4万年之后仍能致命。这无疑是20世纪人类所留下最持久的标记，也是历来任何一个世代对未来所造成的最持久的影响。[26]

核能并未像汽车取代马匹那样，取代其他形式的能源。无论在技术或社会层面，它都未能找到配套的创新技术，以形成类似石油与内燃机

那种足以改变世界的新群聚。相反地，核能补足了化石燃料；它占全球能源供给比重从未超过5%。但核能提供了燃烧化石燃料以外的另一种选择，的确稍微减轻了空气污染。它产生了一组不同的环境影响与风险。所有的重要科技都自有其环境意义，在加重某些问题时，也会减轻其他问题。没有一种科技，即便是核能发电，能像汽车城群聚那样同时改变社会与自然。

基因工程与信息技术——未来的新群聚？　有一个新的科技群聚可能正在兴起，未来可能为人类生活及地球环境带来革命。自1750年起，每隔50～55年就会出现新的群聚，到20世纪90年代便“应该”出现另一波新趋势。基因控制与信息技术可能就是这股趋势的重心。在20世纪末，生物科技正迈向巨大变革，各界尤其迫切要将基因相关的新知识导入正当应用（并因此获利）。数百万年来，演化一直为遗传选种（genetic selection）所主宰，后来出现人类社会后，文化的演化也逐渐兴起成为一股堪与匹敌的势力。20世纪90年代起，因为科学家已有能力直接干预基因的筛种与繁殖，这两股力量开始合并。经过基因工程改造的生物，特别是体型较小者，势将改变害虫管制、肥料、采矿、回收、污水处理及其他与环境有直接关联的领域。苏格兰科学家已成功克隆了绵羊；日本科学家则克隆出牛。这时美丽新世界已依稀可见，或者说正在向人类招手。

计算机原本被视为具有节省纸张、让通勤的必要性降至最低等优点，到1999年却已造成无法忽视的环境影响，不过就像基因控制一样，也有着无限的可能性。当时仍在初期发展阶段的因特网，便极有可能在配备电力与计算机的状况下带来无限变革。这些现象可能产生无法预见的环境后果。但信息技术与新群聚（如果真的产生）最终会出现何种冲击，仍不甚明确。

科技、能源机制与经济系统乃同步进化，其间偶尔会形成革命性的新群聚。但这只是整件事全貌的一部分。这些群聚反过来也会与20世纪的社会及环境同步进化。广为采用的成功群聚，一定能够适合当代社会与环境中的状况与趋势。与此同时，社会与环境也受到成功群聚的影响并随之调整。因此，这三项因素之间虽互有影响，它们的相对角色却有所改变。在先前的数百年间，环境在影响社会与科技方面扮演较为重要的角色，但到了20世纪，科技的角色却更为重要（尤其是在汽车城群聚中），塑造社会与环境的程度更甚以往。但若出现特定的重要环境干扰，例如严重的全球气候变暖或生物多样性降低，那么就必须再度改写

以上等式，让（新的）环境因素扮演更具决定性的角色。矛盾的是，如果人类想躲过预期中的环境危机，那么原先带领我们走向危机的科技，也需要能够带领人类走出危机。不管有没有新的能源系统或经济秩序，相关科技所形成的新群聚可能将人类导向任何一种可能。

经济变革与环境

20世纪经济史的三大特色包括工业化、“福特主义”（Fordism）与经济整合。这些特色相互交错影响，其间还掺杂了化石燃料的普及与科技变革。它们同样有助于推动景气更迭，助长20世纪的经济奇迹，并且引发大规模的环境变革。

工业化　18世纪末英国工业化起飞，很快便达到前所未见的高峰，即使是中国宋朝也难以与其匹敌。这股风潮从英国开始迅速扩散并进一步强化，之后还多次改变形态。1750—1990年，工业劳动效率大约增加了200倍，因此现代劳工一周内的产出，相当于他们在18世纪的前辈工作4年的产量。仅是20世纪，全球工业产出便增长40倍。[27]

煤炭城群聚以美国与欧洲西北部为中心。它在20世纪初扩散至日本，20世纪30年代传到苏联，50年代又遍及苏联卫星国，而其中有些国家已有类似群聚，例如波希米亚与西里西亚。汽车城群聚首先在美国成形，但很快便在加拿大、西欧、日本、澳大利亚与新西兰开花结果。不过这股趋势只扩散到苏联（斯大林掌权后往往强力抗拒创新）与拉丁美洲部分地区，非洲与南亚则几乎不见其踪迹。1958—1960年推动“大跃进”时期，中国曾试着以土法炼钢在短期内复制汽车城群聚模式。尽管就地理来看工业化出现扩散现象，自20世纪20年代起仍有大约2/3的工业产出（以产值计）发生在几个核心地区：美国、加拿大、日本与西欧。

就像城市化一样，工业化改变了能源与物流的结构与速度。工业也有其代谢作用。在此我将省略细节与实例，只提供两项大略的概念，其中一项较为明显，而另一项则为隐含概念。首先，世界各地与任何一个时期的工业化，都会增加资源的使用与污染。煤炭城群聚特别肮脏，即使是像西里西亚这样20世纪的最新版本。20世纪工业产出增长了40倍，代表原材料使用与工业污染大幅增加。[28]增加的幅度相当之大，但还不

到40倍。

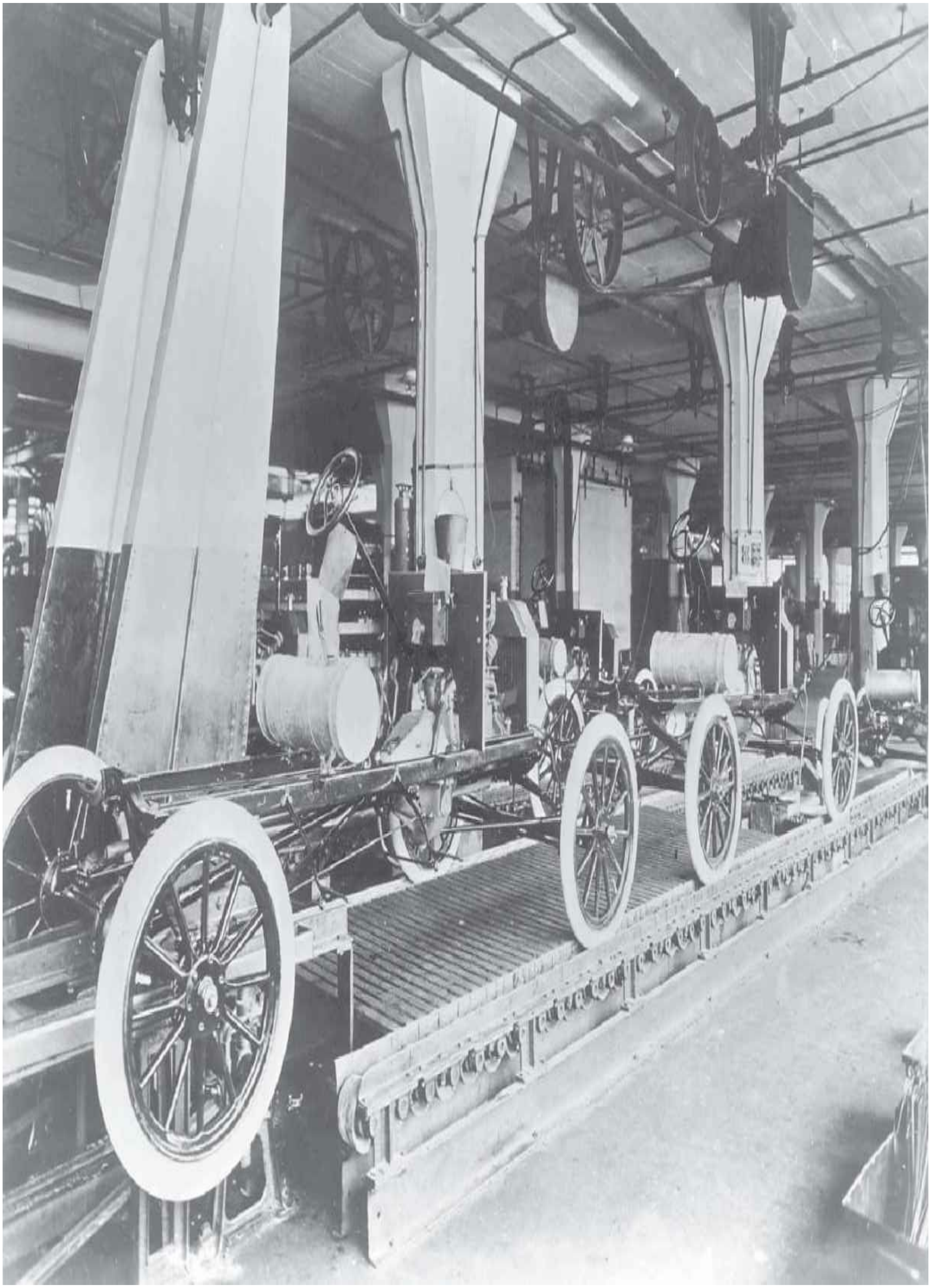
第二个较不明显的概念，则是工业污染与需求会随着时间递减。能源效率提升，每生产单位所排放到大气圈中的碳也因此减少，使工业经济达到“去碳化”（decarbonize）。工业也逐渐学会如何降低每单位产出所需利用的原料，也就是“去物质化”（dematerialization）。英国经济的能源密集度（能源使用与GDP比）在1850—1880年之间达到高峰，这可能是史上最没有效率、消耗最多能量的经济体。[29]加拿大的能源密集度在大约1910年之后下降，美国与德国则约在1918年之后，日本为1970年之后，中国为1980年，巴西则为1985年。1988年美国每一美元（以统一币值计算）工业产出所使用的能源是1958年的一半，碳排放量则不到后者一半。在1972—1986年，韩国以美国一半的时间达到了同样的效率增长。以全世界来说，能源密集度约在1925年达到高峰，到1990年已经下降将近一半。这代表污染（以及资源使用）比20世纪原本预计出现的水平大幅减少。但这股乐观的趋势，却被整体工业规模大幅扩张的事实所掩盖。[30]

福特主义与大量消费　福特主义在此指的是装配线制造，以及20世纪工业界工人与雇主之间的历史性妥协。经过无数的管理发展［包括1912年启用的亨利·福特电气化装配线，还有泰勒制（Taylorism）这种分析协调每个劳工动作的科学管理模式］，工业经济在20世纪初达到了超高的生产力增长率。亨利·福特认为，与他的员工分享这些成果符合他自身的利益，因此从1914年1月5日起，也就是消费社会的诞生之日，他支付给劳工的薪水足够让他们有能力购买一辆福特T型车（Model T）。1923年，福特员工58天的薪水就能买一辆车。[31]数百万美国人真的买了汽车、收音机、留声机，接着便是电冰箱与洗衣机。他们所享受的富足与悠闲，在19世纪需要拥有大批仆佣才能办到。福特主义造成工业社会中社会契约的重新协商。

这种由福特在美国首创的生产系统，传到了加拿大、欧洲、日本、苏联以及其他前哨站。将大量生产所得转换为大量消费的社会调和（social compromise），出现了各种不同形式，且花费时间长短不一。在欧洲乃由国家中介福特主义，在工会与雇主之间达成协议。（在法国与意大利，雇主经常就是国家本身。）在日本，1954年之后福特主义快速发展，工厂与社会都在美国占领下（1945—1952年）重新配置。福斯消费出现在20世纪60年代。在苏联，国家其实就是唯一的雇主，而自20世纪20年代起该国统治者便十分着迷于美国工厂的效率。苏联在意识形

态上誓言要与工人分享利润，但其方法是确保就业而非大量消费，因而产生一种福特主义的变体，也就是工业生产主要为了国家而非人民。不论其主要意识形态或政治经济，工业化社会所散布的财富足以维持机器运转，让工人持续工作，而通常他们会持续消费。简而言之，在苏联集团以外地区，生产方面的大规模革命，让消费得以出现——同时也必须出现——大规模革命。

从家庭关系到阶级架构这一类的社会安排（social arrangements）也会随之改变。不同世代与性别之间的相互关系，也必须随着大量生产的需求与大量消费的喜好而改变。年轻人比老人更能忍耐早期装配线嘈杂的恶劣环境，而老人的技术虽值得尊敬，却已没有太大用处。至于那些强调精准与耐力的工作，雇主往往偏好女性多于男性。一般人均能负担的家用品，改变了数百万名妻子与女儿的生活。家庭与社会中那些古老而未明示的社会契约，遭到废除并重新确定，有时场面变得相当难看。大约在1912年，美国首先感受到福特主义的社会冲击，西欧大约在1925—1960年，日本约于1950—1970年，韩国与中国台湾则要到1980年之后。这些社会变革牵涉到相当多的冲突，因为在有些人享受到福特主义好处的同时，也有人因为装配线生产过程中无情的效率竞争而备受打击。举例来说，德国的小型企业与工匠就被装配线的效率击溃，进而在20世纪20年代末引发激进政治活动，像希特勒的纳粹主义便以抚慰人心的方式诉说人们的困境，表达人民愤怒的手法也相当吸引人。生产与消费的革命可以完完全全地瓦解社会，速度之快并不亚于政治革命。



图为全球汽车制造中心底特律市外高地公园（Highland Park）一处福特汽车公司早期装配线，摄于1913年。亨利·福特的装配线，以及他所支付的高额薪资，在美国与全球各地的生产与消费模式引发革命，并带来无数的社会、政治与环境后果

生态安排也必须改变。为了维持新形态的社会安排，田地、工厂与办公室需要更多的燃料、肥料、水、木材、纸张、水泥、矿砂，除了马匹、燕麦、鲸须以及众多被扫入历史垃圾桶的其他原材料，差不多所有物资的需求均告增加。这所有的投入都转换为能源、食物、商品、污染与垃圾。没有了福特主义与福斯消费，20世纪环境史将会更加平静。

20世纪期间福特主义的部分触角延伸到非洲、拉丁美洲或南亚。一些独立的福特主义生产技术被开发出来，例如塔塔（Tata）家族位于印度加尔各答附近的钢铁厂，长久以来就是大英帝国中规模最大者。但这些现象均未在上述地区产生足以带动大量消费的社会调和。如果有的话，20世纪环境史将会比现况更为纷扰。如果21世纪福斯消费在中国、印度、尼日尔利亚与巴西兴起——未来是否会发生仍难确定——可能会进一步引发动荡。

经济整合　现今多半称之为全球化，不过这间歇发生的经济一体化已有很长一段历史了。到了现代，则受到1405—1779年主要由欧洲人与中国人所开创的探险与贸易交流所带动，[32]后来则由殖民主义，以及19世纪的新型运输与通信科技——铁路、汽船、电报带动。1870—1914年的确是全球历史上一段伟大的整合期，从贸易、移民与资金的流动便可看出。第一次世界大战与俄国革命遏止了这股趋势。苏联转向了自给自足的理想，20世纪20年代的意大利法西斯主义也追随其脚步。后来在经济大萧条与第二次世界大战期间，国际贸易与资金流动也大幅下滑。

这惨痛的经验成了战后经济秩序规划者心头的压力。他们知道景气系于贸易，因此在美国的领导下打造了一个新的货币机制与各种贸易协议。这个机制自20世纪40年代末促成了西欧与北美的快速整合，日本则是始于朝鲜战争时期（1950—1953年），中东主要石油输出国为20世纪50年代中期，韩国与日本大约从1970年开始，而拉丁美洲、非洲与南亚的整合较不完全，速度也更慢。与此同时，苏联组织了一个规模更小且整合程度较低的对三維系，成员包括东欧国家，中国亦曾短暂加入。20世纪70年代莫斯科不再死守经济自给自足的原则，好抓住机会出售其石油与天然气，并解决购买谷物的需求，两大集团因此开始整合。

尽管有低潮与挫败，经济整合的动能依旧持续。受到运输成本下

降[33]、实时电子通信，以及在金融市场与主要工业强势推动民营化与法规松绑等因素带动，最重要的是（1978年后）中国自给自足式社会主义意识形态的瓦解，以及东欧剧变与苏联的解体（1989—1991年），经济整合的趋势在20世纪80年代与90年代加快脚步。就普遍的经济意识形态与国际贸易金融突出表现两方面来看，1980年后这段时期与1914年之前的状况非常类似。

这一切虽在世界各地造成破坏，对于不欣赏美国主导地位的人来说也相当刺耳，不过经济整合加上工业化与福特主义，却成为1945年后全球经济增长奇迹的背后动力。经济整合趋势崛起所带来的环境后果，远超过大量消费。

经济整合常导致大自然突然被商品化。通过市场神奇的力量，一群消费者若有机会购买以前无法取得的某种东西，往往就会出现这种现象。如果这样东西是象牙、犀牛角、大熊猫的毛皮、鳄鱼皮、鸵鸟毛、水獭毛皮、玳瑁壳、鲸油、柚木等，那么消费者与供应来源之间的串联，便会改变供应区域的生态，而且情况往往相当剧烈。这是因为供应往往受繁殖节奏所主宰而无法加快速度。犀牛并不会因为需求而生育。1970年之后，东亚（作为药用）以及也门北部（用来制造匕首握把）的犀牛角市场，打乱了犀牛繁殖的速度。到了1997年犀牛数量下滑90%，全球只剩下大约5000～7000头。[34]

经济整合将数百万人分散的需求，集中到有限的供应地区。这些区域多半是人口稀少的边陲地区，之前较少受到人类干预，且社会较不限制贪婪。这结果造成商品的快速消耗及生态的转变。这对野生动物的影响最大，但也波及了像是桃花心木与杉木这样的珍贵植物与树种，还有蕴藏珍贵矿物的区域。如果新喀里多尼亚并未整合进国际贸易体系，当地镍矿所带来的影响（请见第1章）就微不足道。由于运输方式改变（尤其是19世纪80年代发明的冷冻货运）将远距离的都会市场连接起来，新西兰与阿根廷便将适合的土地改为牧草地，以符合海外对牛肉、牛油与奶酪的需求。自20世纪50年代起，中美洲森林变成牧牛农场，以满足美国对牛肉的需求。马来亚森林成了橡胶园，巴西雨林成了咖啡园，加纳森林则变成可可园，这些都是因为市场整合所致。即使是古柯碱或大麻之类的非法贸易，也在秘鲁、玻利维亚与摩洛哥北部造成生态变革。因为墨西哥制造业者开始打入美国市场，1965年后墨西哥北部边界地带（这是一种不同的边陲地带）快速工业化且污染严重。由于经济整合，特别是现代的全球化现象，几乎没有土地、海洋或栖息地不

受“边境经济学”（frontier economics）效应影响。[35]

经济整合，至少对突发状况来说，也会破坏能够抑制环境变迁的共有财产机制。全球各地的渔场、森林、草原、蓄水层与其他资源，过去（和现在）往往都有取用的规则，让众人能使用该资源但不会将之耗尽。有些做法已年代久远，例如西班牙瓦伦西亚就有保存地下水的规定，或者像尼日尔尔南部萨赫勒地区（Sahel）牧民团体的轮替，不同团体轮流利用不同放牧地。其他做法较新，像20世纪60年代土耳其阿拉尼亚（Alanya）渔民便采用抽签制度来防止鱼群枯竭，渔民们分配渔场，以运气决定捕捞的地点与时间。全球化浪潮为这些小规模的社会系统带来新的震撼。以渔业为例，进军远距离市场的大型业者引进拖网渔船后，大大打击了传统渔民，往往造成公有财产机制瓦解。所有人均可参与后，渔业也因此瓦解。这些机制被“公共物品悲剧”所取代，参与的都是一些将产品贩卖到远距离市场的陌生人，且其营运不受一般制裁不法人士的制度所规范。[36]

即使规范资源取用的制度并未瓦解，类似的环境影响也常源自对财产没有安全感。只要地主、渔民、牧民、猎人或采矿者担心明天可能失去生计（或其财产）所系的资源取得途径，当然就会趁今天尽可能地撷取资源。这样的恐惧在历史上相当常见，却随着快速起落的殖民帝国、革命以及其他足以改写财产与资源取用相关规则的政治变化而加深。其中一例是1935年后埃塞俄比亚人面临战争、殖民占领与征收、革命及内战等一连串事件。俄罗斯人民所面临的不确定性也差不多。身处全球经济边缘的人，与远距市场联结足以让土地与资源增值，却因为财产权与一般法规而难以实行，也面临同样的逻辑。在未经开垦的巴西及类似的“边境”地带，尽可能迅速将资源变现让人难以抗拒，为后代保留资源的理性基础也相当薄弱。

20世纪末的经济整合也促进全球经济快速“金融化”（financialization）。在20世纪70年代，产油国在石油输出国组织带领下发了一笔横财，并将之存在全球各地银行。当国家解除资金流动管制（可能是受到里根——撒切尔时期观念与施压的影响），金钱在金融体系中流动就比贸易或制造业中容易许多。1980年后国际金融流动的规模使贸易流动相形见绌，全球银行体系因此满手现金。因为银行必须出借资金，因此也造成生态上的后果。

这些现金中有一大部分流入开发银行。世界银行（成立于1944年）、美洲开发银行（1959年）、亚洲开发银行（1965年）及其他几家

机构，被赋予振兴穷国经济发展的责任。它们专门从事特定开发计划的借款。在某些方面，它们是欧洲殖民体系的继任者，表面上要在去殖民化之前“开发”非洲与亚洲经济。但这些银行拥有更多钱。它们可以在资金充裕的纽约、伦敦与东京金融市场借到大笔资金，然后借给穷国。为了维持经济开发的主题，这些银行倾向于投资基础建设与能源相关计划。1960年后，世界银行成了全球道路修建、发电厂、石油探勘、煤炭开采与水坝建筑的最大融资者。直到1987年，各家开发银行仍鲜少注意到它们的贷款计划会造成何种生态后果，即使像是在亚马孙雨林内修筑道路或设立屯垦区这样影响深远的建设。各国政府也大举借贷，尤其是巴西、印度、中国与印度尼西亚，而这些国家都不希望银行担心环境效应的问题。1987年之后世界银行开始针对借款计划，要求提出环境评估，这些国家还有大部分的银行工作人员都采取抗拒态度。20世纪90年代，其他未受到环保压力的开发银行，持续以严格的经济与政治标准对外借款。由开发银行流出的大笔金额——每年高达数百亿美元——让亟须用钱的国家以灌溉计划、发电厂、穿过雨林的道路等开发计划，改变了自身的环境。这些开发计划中有令人相当气馁的比例，在生态方面来说非常失败，因为规划者根本没有将生态因素列入考虑。[37]

结论

20世纪在能源机制、科技与经济方面的变革均息息相关。这些变革结合成创新群聚，无论在速度或方向上均将环境史导向工业化的世界。其他方面的影响也相当之大，但因为科技变革与能源密集经济所留下的印记不深而有所限制。的确，通过欧洲、日本与北美之间的经济联动，煤炭城群聚与汽车城群聚只间接影响了许多地区。在蒙古、婆罗洲、乍得与玻利维亚，大多数人对汽车使用方式、工业化与福特主义的改变感受不大，但石油与新型运输科技帮助他们联结上苏联、日本、欧洲与美国的工业心脏地带，通过新作物或增加资源开采而带来了环境的变化。科技变革与能源使用的模式塑造了国际分工，也在国际上造成不同的环境效应。富国因为属于能源与科技密集经济，空气与水源污染也更为严重，而穷国因为低耗能与低科技经济，森林砍伐、土壤侵蚀或沙漠化的问题较为严重。像俄罗斯与中国这样多元化的大国，会受到上述所有影响之苦，因为它们国土幅员广大，因此可以不顾全球经济，而在自己的国境内自行分工。

能源、科技与经济之间紧紧相系的路径，对20世纪环境史造成极大的影响。这些影响与人口及城市化的趋势关联性较低，而且与意识形态及政治风潮之间互相联结（往往相当紧密）。这些影响有助于带动意识形态及政治风潮，反之亦然。

[1]Bourgeois et al.1996的垃圾考古学显示，20世纪50年代根特（Ghent，比利时）的城市垃圾以煤炭碎片与灰烬为大宗。

[2]有关日本，请见Hein 1990。到了1958年，日本的石油已经比煤炭便宜。在美国，石油使用约于1948年超越煤炭；1900年该国使用的煤炭是石油的20倍（Adams 1995：181）。

[3]接下来的讨论取材自Santiago 1997 and 1998。

[4]Melosi 1985：151-2.

[5]Santiago 1997。炼油厂数据实为1924年资料。

[6]Santiago 1998：182，引述卡列斯（Plutarco Elías Calles，后来成为总统）1921年谈话。

[7]Melosi 1985：97.

[8]Vitale 1983：95。产量排名均根据Etemad and Luciani 1991。

[9]1948年苏联开始在鞑靼斯坦（Tatarstan）大规模开采油田，60年代则进军西伯利亚西部鄂毕河中游布满沼泽的森林地区探勘。1961年苏联成为全球第二大产油国（Dienes and Shabad 1979：50–61）。

[10]Salau 1996：257–8提到“毁坏”字眼，并表示1976—1988年尼日尔尔河三角洲每年平均约有200件有纪录的漏油事件。

[11]有关尼日尔利亚，请见Lowman and Gardner 1996与Osaghae 1995。

[12]此估计数字来自Holdren 1991：124。同时请见Buxton 1993、Earle 1995：261—91、Gorman 1993：119以及ReVelle and ReVelle 1992：408–11。

[13]Burger 1997详细概述了漏油事件的历史。

[14]1992年联合国发展计划（UNDP）估计，全球最富有的10亿人口的财富，为最穷10亿人口的150倍（《经济学人》，25 April 1992：48报道）。

[15]这并不表示其他能源机制就都不影响环境（environmentally neutral）。以肌力与生物量为基础的能源机制（海地模式）可能会让世上所有可燃性植物消失殆尽。以煤炭为基础（波兰模式）则会大幅增加空气污染。以核能为基础（不过这在1954年之前尚未问世）则有反应堆核心熔毁、进而使全世界迈向长达1000年的致命废弃物处理问题的高度风险。至于太阳能、风力与燃料电池，目前（尚且）无法得知会有什么后果。

[16]此估计数字来自Pfister’s（1995）。

[17]Silversides 1997：1所引述。

[18]Ibid.。此处文字（摘自Silversides 1997：107）乃引述自加拿大伐木工阿姆斯特·库雷利克（Armst Kurelek）。

[19]请见Ausubel 1989（有关铁路、枕木与矿物杂酚油），以及Grübler and Nakičenovič 1991（有关整体运输科技的进化）。

[20]有关马匹问题请见Grübler and Nakičenovič 1991：56–7，以及Lay 1992：131–3。1900年英国每10人拥有一匹马，美国则每4人拥有一匹。

[21]在即将出版的作品中，Tucker于第五章讨论了全球橡胶业与其生态冲击。Dean 1987详述了巴西的经验，先是亨利·福特，其后又有丹尼尔·路德维格（Daniel Ludwig）尝试在亚马孙雨林设立橡胶园。

[22]这空间包括了道路、停车场、加油站、废弃车处理场，等等。此数据来自Freund and Martin 1993。

[23]有关汽车与其影响，请见Freund and Martin 1993；Jackson 1985：157–71,246–71；Kay 1997；以及Melosi 1985：105–12。附带一提，到了1925年汽车已经比马匹更为安全（以移动每英里的死亡人数计算）；到1985年更比1925年安全10倍，比马则安全15倍。美国数据来自Lay 1992：176。

[24]Berkhout 1994：324。约94%的民用反应堆位于工业化国家。

[25]The Economist，28 March 1998：63.

[26]Savchenko 1995：2指出，最终癌症死亡人数的估计数字从1.4万～45.5万人不等；同时请见该著作pp.78–84（有关截至1990年之进一步健康影响）以及pp.128–30（有关基因突变）。切尔诺贝利的污染造成大约64万公顷田地与森林无法再供人类利用，相当于黎巴嫩2/3的面积（p.142）。由经济合作开发组织成员国核能业者所组成的国际性核能总署（Nuclear Energy Agency），认为只有几千人会因为切尔诺贝利事件罹患癌症，其中大部分为在1986年仍为儿童的欧洲人（经济合作开发组织核能总署，1995）。乌克兰一名医师（Shchebrak 1996）认为，切尔诺贝利事件发生后前10年已有3.2万人死亡。Eisler 1995则详述了切尔诺贝利的生态影响。

[27]Grübler 1994：44.

[28]Ayres 1989估计在20世纪80年代，美国工业每年平均为每人动用10吨的矿物与生物量，其中94%马上变成废弃物（例如矿渣、谷壳与粗糠）。大部分的废弃物都来自矿业，例如若要采集一盎司黄金，矿工便须挖遍25吨岩石。

[29]这些经济体的能源密集度，甚至可能高过一个世纪前的英国，端看你如何计算1960—1990年苏联与苏联集团国家的GDP。

[30]这部分大量取材自Ausubel 1989,1996；Grübler 1994；Herman et al.1989以及Nakicenovic 1996。同时请见Adams 1995与Schurr 1984。能源密集度数据取自Dessus and Pharabod 1990：292、Grübler 1994，以及Smil 1994：205–7。Reddy and Goldemberg 1991的数据稍有不同。去物质化不像去碳化那样明显，而是一种长期的趋势。不过它也受到整体增长的掩盖。请见Wernick et al.1996。

[31]Adams 1995：187–8。消费社会可能早在1914年便告诞生，却一直要到50年代才摆脱混乱的青涩期而趋于成熟。有关欧洲方面请见Pfister 1995。

[32]此处的日期代表葡萄牙王子“航海家”享利（Henry the Navigator）以及中国明朝（1405年）航海探险之初，以及库克船长海上航行完成之时（1779年）。这些事件将最后一批重要的土地与人口整合至单一的系统中。

[33]这主要是因为集装箱航运兴起。集装箱航运于1955年发明，但到20世纪80年代才在全球普及起来。

[34]犀牛数据来自http：//www.mamba.bio.uci.edu（1997年10月2日）。该网站由加州大学尔湾分校（University of California-Irvine）的彼得·J.布莱恩特（Peter J.Bryant）维护。

[35]我认为此用语最早为肯尼思·博尔丁所使用。有关中美洲，请见Augelli 1989；有关巴西，请见Dean 1995与McNeill 1988；边境经济学在加纳导致短暂财富与永久的贫困，相关信息请见Amanor 1994。有关古柯碱请见Dourojeanni 1989；有关大麻请见McNeill 1992b。有关墨西哥加工出口厂（maquiladoras），请见Nuccio and Ornelas 1987。同时请参考Mander and Goldsmith（1996）这本书名极为恰当的作品。

[36]在各种有关财产制度的文献中，请特别参考Berkes 1992与Ostrom 1992。

[37]其中最有名的包括勃洛诺罗斯特（Polonoroeste）道路与屯垦计划、巴西亚马孙的卡拉亚（Carajás）铁矿砂开采计划、印度新格鲁利（Sing rau li）煤矿与发电厂、印度纳尔默达水库（请见第5章），以及印度尼西亚的跨界移民计划。有关世界银行，请见Wade 1997以及Rich 1994的指控。Bayalama 1992宣称国际货币基金与世界银行的结构调整计划，在非洲造成环境损害，其中又以土壤侵蚀与沙漠化为主。

第10章 观念与政治

要想主宰造化，必得顺从造化。

——弗朗西斯·培根（Francis Bacon），《新工具》（*Novum Organum*,1620）

超越大自然是我们诞生在这个世界上所担负的使命，欧奈特先生。

——凯瑟琳·赫本在电影《非洲皇后》（*African Queen*,1951）中对汉弗莱·鲍嘉所述台词

20世纪见证了形形色色的意识形态与政策。动乱的时代让人重新思考古老的真理。对环境史来说，强大而盛行的观念比起明确的环境观来得更重要。与环境相关的观念与政治，虽在20世纪60年代后成为支配社会的等式的一部分，但从来都不是具有影响力或支配力的观念与政策，而这也完全符合时代的现实。即使是不符合时代现实的观念与政策，也还有现任者的残留势力。20世纪环境改变如此之大的原因之一，就是因为从生态的观点来看，盛行的观念与政治少有改变。

主流观念

人们的想法会影响环境，因为就某种程度而言，想法塑造了人类的行为。当然，变动中的环境也部分影响了人们的想法。这里有两个相关的要点。首先，在1970年之前，人们对环境、自然、生命及这类事物的看法相当微不足道。其次，无论古今，特别是在1970年之前，其他支配人类行为的观念影响环境最大。因此本章将分为两个部分：主流观念与环境观念。

主流观念就是塑造了亿万人行为的观念，通常指经济与政治观念。像基因突变或科技这样的观念随时都会诞生，但多半都会因为缺乏追随

者而消失。这些观念随时都得面临无情的筛选，但像突变与科技，规模收益递增的概念通常仍适用。当一个观念为人所接受，接受度便能轻易持续提升：它在社会与政治系统中根深蒂固，这也有助于进一步散播。接着这个观念还能超越时间与空间传播，只要它有利于追随者。科技历史学家将类似状况称为“技术锁定”（technological lockin）。例如，19世纪所采用的窄轨铁路成为标准规格后，即使它造成铁路系统无法提升，无法供速度更快的火车行驶，它还是无可取代，因为投入旧系统的资金已经很多。意识形态的锁定（指正统观念的残留势力）也是这样。所有的主流观念会变成深植于社会与政治系统的正统观念，即使代价高昂仍难以动摇。

广为接受的观念主要受通信科技与政治支配。有五大变革——语言、书写、印刷、公民识字率与电子传输——主宰了通信科技革命。这样的累积让广为接受的观念更受欢迎，降低了具有影响性观念的多样性，让少数赢家具有更高的影响力。[1]政治因素也影响了许多观念的成功。几个世纪前，基督教因为国家（如罗马帝国）致力于传教而受惠。在20世纪，英裔美国人的经济思想，则在美国杰出成就人士的协助下广为散布。

在20世纪初，拥有大量追随者的观念仍以伟大宗教为主。它们的教义包括了各种对大自然的限制令。古代希伯来人的上帝训示信徒“要生养众多，遍满地面，治理这地；也要管理海里的鱼、空中的鸟，和地上各样行动的活物，”（《创世记》1：28）。有人以上述文字与其他圣经篇章[2]作为理由，认为基督教，或者说犹太教与基督教共有（JudeoChristian）的传统，其实相当罕见地鼓励环境掠夺。根据以上说法，佛教、道教与印度教的教义较崇敬大自然，但全球各地环境破坏的纪录显示并非如此：其他宗教传统要不是同样鼓励掠夺行为，就是并未明确限制与自然界相关的行为。[3]

后面这个命题比较有道理。信徒多半对宗教经典一知半解。就算是了解的人，也常因为身为凡人而将宗教经典抛诸脑后，让方便与利益主宰自己的行为。每部经典也都语焉不详、自我矛盾，且可根据不同状况而有不同诠释。伊斯兰教与印度教社会还保留了部分的神林（sacred groves），耆那教徒尽量不杀生。但这些连同其他限制，对环境变迁的影响不大。到了20世纪这个严重偏离宗教的时代，原本就作用不大的宗教，对生态的影响更是缩小到几近消失。

有关上述犹太教与基督教，有另一种说法认为西方的人道主义、理

性主义或科学革命，是借由剥夺大自然神圣的特质而允许伤害环境。[4]虽然伊拉斯谟、笛卡尔与培根的呕心沥血之作，或许无法影响20世纪及在此之前的农民、渔民或多数地主的想法，但这个命题仍有讨论空间。通过助长科技变革，西方科学在各地都间接促进了环境的重塑。[5]牛顿说如果他比别人看得更远，那是因为他站在巨人的肩膀上。20世纪科学家（像是哈伯与米奇利）的研究证实在生态方面影响深远，而他们就是站在科学界巨人的肩膀上。这些科学界巨人的观念是，科学是用来解开大自然的谜题，并运用科学知识来增进人类的健康与财富。这具有说服力且无所不在的观念，合理化了现代科学能力所及的所有形式的环境操控。举例来说，应用科学造就了化学工业，并在19世纪中期到末期趋于成熟。到了1990年该产业已制造出8万种常用的新型化合物，且不免流入了无法适应这些化合物的生态系统中。即使是浓度极低的形态，其中一小部分仍具有杀伤力，毒害了鸟类与鱼类，损害了基因，并造成诸多通常视为负面的效应。有些则以高浓度形态进入了生态系统，1930年全球化学工业制造出约50万吨有机化学药品，到1999年总数已增加上千倍。[6]虽然过程缓慢，但可以确定的是化学工业会影响生态，为生物进化引进了新的选择标准，亦即能否与环境中既有的化学物质兼容。这样的发展以及类似的现象，是一个多世纪以来人类热烈追求科学研究的意外结果。这其实是过去的科学观念对20世纪环境史造成的影响，而非来自宗教观念。

现代的政治观念亦然。起于法国大革命的民族主义，到了20世纪大获成功。它成功地跨越了文化与各大洲，程度更甚于其他来自欧洲的观念，而且还出现了好几个分身。虽然方向不一，但它仍深深地影响了环境变革。

就某种程度而言，民族主义可能刺激景观的保存。1880年后欧洲快速工业化，对德国、瑞士或英国乡间的怀旧情绪，特别带有爱国的意味。1926年一位英国人曾写道：“我们所拥有最具历史意义的遗迹，也是英国最重要的东西，就是乡间、市镇、村落、灌木围篱、小巷、矮树林、小溪与农庄。”[7]瑞士人对本国的山间与农场特别有感情且怀抱爱国心，拒绝在勃朗峰附近兴建铁路，以及其他象征他们称之为“美国主义”的事物。[8]德国人琢磨出的民族主义更为细腻，披上田园式的浪漫主义色彩，甚至成立了无数的乡村保护社团。这样的观念也助长了纳粹主义。海因里希·希姆莱（Heinrich Himmler）的党卫军（SS，纳粹特种部队）梦想将波兰转变为带有德国种族起源色彩的地区，其中便有大片原始森林，以反映德国人对大自然的热爱。[9]

只要有城市及工业化兴起的地方，就会出现类似以乡村正义、（我们的）土地尊严与自然保存为要求的国家认同。1917年之后的俄国（而非苏联）民族主义，加拿大西部的社会信用（Social Credit）运动，作家劳伦斯（D.H.Lawrence）对大自然的崇拜，得过诺贝尔奖的挪威畅销小说家克努特·汉姆生（Knut Hamsun），其基础有如知识大杂烩的地中海地区法西斯主义与日本军国主义，[10]以及所有形式的回归田园、反现代化风潮，这一切都反映出政治与文化对于工业化转变的极度厌恶。在地中海地区，这甚至还引发了小规模的森林复育计划，其中有些还赢得墨索里尼的支持，因为他认为这会让意大利气候更冷，人民就会因此更加好战。[11]

在俄罗斯，防止贝加尔湖污染的行动，在苏联时期是相当勇敢的抗争，是民族主义与自然关联的具体化呈现。贝加尔湖堪称西伯利亚之珠，是全世界最深的湖泊，也是历史最久远者之一。它具有独特的生物群，有许多其他地方所没有的物种。部分苏联工程师认为，那里清澈的湖水很适合用来供应国家的军事工业区。1957年当局秘密规划在贝加尔湖畔兴建一座工厂，来生产喷气机用的黏胶纤维（viscose fiber）。苏联的科学与文化界精英利用赫鲁晓夫解冻期（Khrushchev thaw）——苏联言论自由度最高的一段时期——公开表示异议。最后，各界高分贝的反对，并未阻止两座纤维工厂在1966—1967年开工，不过当时已出现新型塑料，因此以纤维制造喷气机轮胎已成为过时的技术。以苏联的标准来说，异议的出现并未特别引发对污染管控的注意。相关活动或许有助于阻止另一项出现于20世纪50年代的开发计划，也就是用核弹在贝加尔湖南方炸出一个缺口，以增加通过安加拉河发电厂的水量。[12]

在印度，与墨索里尼、纳粹党卫军或苏联少有雷同之处的甘地，则把属于工匠与农民的印度怀旧民族主义愿景具体化，使其不受以英国为代表的现代工业所腐化："上帝禁止印度以西方的方式走向工业化。如果整个人口达三亿的国家（此为1928年数据）走向同样的经济剥削，就会像蝗虫般把整个世界吞噬殆尽。"[13]甘地是个例外：大部分的印度民族主义者如尼赫鲁，都希望印度工业化，必要时也可以像蝗虫般贪婪。

纳粹党卫军并未实现波兰计划，印度也未追随甘地的愿景，反而听从尼赫鲁的。总而言之，保护主义者这个民族主义中带有田园色彩的成分，输给了强调权力与财富，并因此不顾生态意涵而偏好工业化与边境屯垦的对立主张。举例来说，墨西哥革命所引发的民族主义，很快便放弃了农民运动，转而支持加速工业化。1930年之后，阿根廷与巴西在没

有发生革命的状况下，追求着同样的远景。明治维新到第二次世界大战期间（1868—1945年），日本结合了民族主义与工业化，1945年后亦然，但较为压抑，且军国主义色彩较淡。因此，工业化为土地使用与污染模式带来的大幅改变，有一部分是民族主义的结果。

尝试让“空旷”边境增加人口所带来的改变亦是如此。由国家推动在加属北极地区、苏联西伯利亚、澳大利亚内陆、巴西亚马孙雨林以及印度尼西亚外岛进行屯垦（并创建稳固主权）的做法，赢得了人民的支持。屯垦与保护这些地区，牵涉到大规模环境变迁，有时是森林砍伐，其他还有石油基础建设，而且几乎所有案例都与道路修筑有关。

民族主义也潜藏在其他人口政策背后，尤其是提高人口出生率的主张（pronatalism）。20世纪许多国家寻求数字上的安全感，尤其是在生育率不断下滑的欧洲。1871年遭到落入普鲁士王国之手的羞辱，还有之后的法西斯意大利与纳粹德国，法国的极端民族主义政权特别希望提升生育率。最成功的案例是尼古拉·齐奥塞斯库（Nicolae Ceauşescu，1918—1989年）统治下的罗马尼亚。1965年他设定在2000年前达到3000万人口的增长目标，禁止包括堕胎在内的所有形式的节育措施，并下令警方监控每位生育年龄妇女，确定她们确实尽到生育的责任。当时，罗马尼亚堕胎与生育率比为4∶1。1966年后罗马尼亚产房大爆满，有时一张病床还得挤进两位待产妈妈。齐奥塞斯库暂时反转了人口转型，并让生育率倍增，一切都是为了罗马尼亚的荣耀。[14]其他为此问题所苦的国家，例如斯大林时期的苏联、1979年革命之后的伊朗，以及阿萨德统治下的叙利亚（统治期间为1971—2000年），也都希望借由增加人口来保护国家安全。民族主义的形式多不胜数并引进各种政策，也因为对环境的影响力而成为一个相当重要的观念，尤其当追随者对这样的关联完全不加思索时。[15]

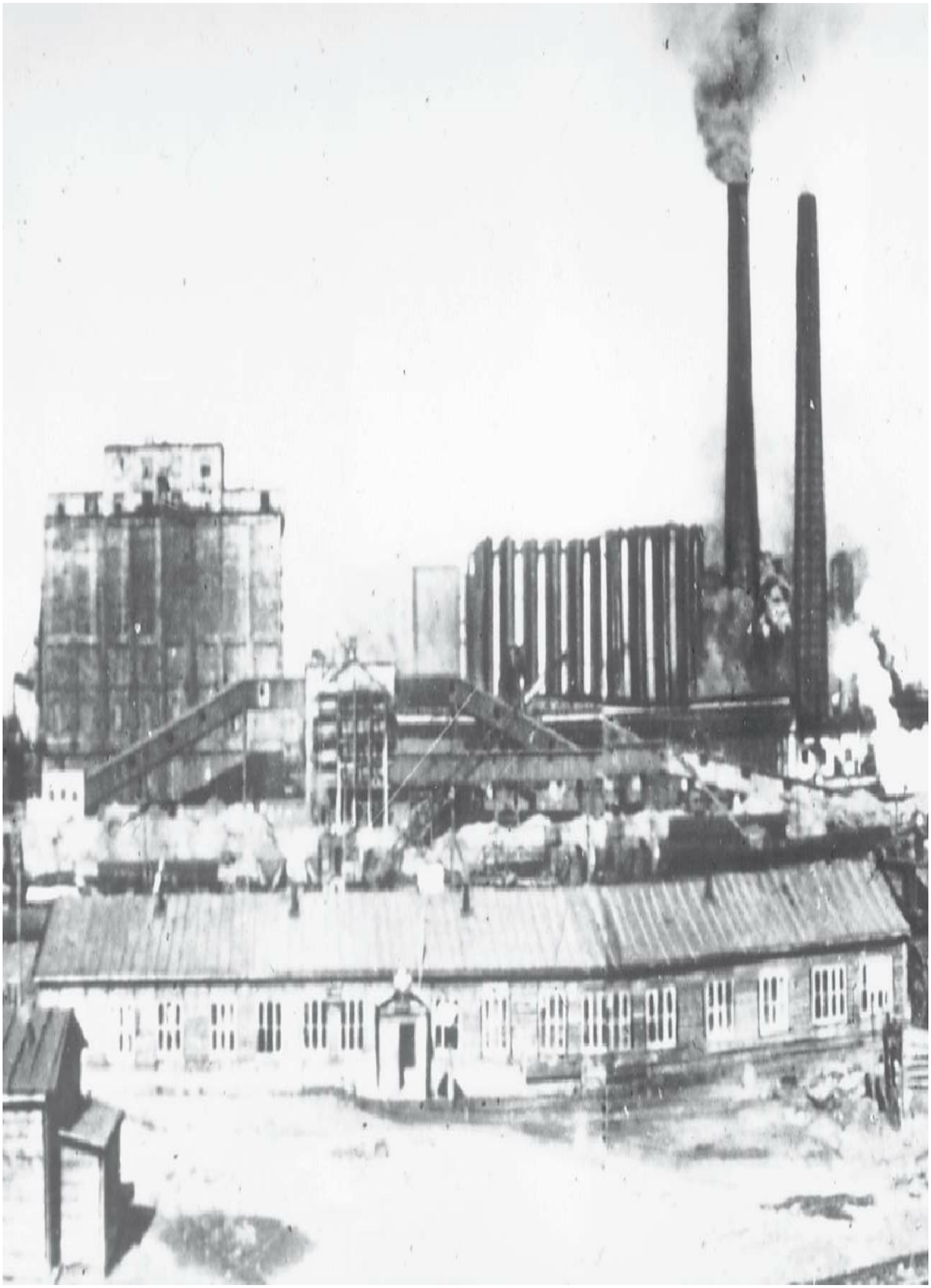
另一个从欧洲散播至世界各地的观念，也就是共产主义，从某些方面来说其实是最高形式的民族主义。它在苏联与中国、古巴与越南的政治上大获成功，除了仰赖脱离外国统治而独立的承诺之外，承诺实现社会政治这点也相当重要。在其他地方促成国家推动工业化的类似野心——经济开发与国力——则驱使各社会主义国家竞相推动大型五年计划。

但共产主义还有其他成分。马克思主义的核心认为大自然的存在可为劳工所驾驭。就像今天许多乐观人士一样，恩格斯认为“土地生产力可通过资金、劳工与科学的运用而无限扩张”。马克思认同法国社会主

义分子的想法，呼吁应以“人类剥削自然”来代替“人类剥削人类”。1926年语言大师查祖宾（V.Zazurbin）向苏联作家委员会发表演说时，便明确地将共产主义的进步与环境转型联结在一起：

> 让西伯利亚脆弱的绿林穿上城市水泥的盔甲，以工厂烟囱的石制口罩作为武装，再配上铁路的钢铁腰带。烧毁并砍伐针叶林，践踏大草原。就这样做吧，这是无法避免的。只有靠水泥与钢铁，所有人才能友爱团结，打造全人类如钢铁般的兄弟之情。

1931年，苏联历史学家伯克洛夫斯基（M.N.Pokrovsky）预言，有一天“科学与技术将臻于完美到我们无法想象的地步，（因此）大自然将成为（人类）囊中之物，任人类选择将之塑造成何种样貌”。在如此具有崇高目标的远景下，什么生态代价都可能会产生。[16]



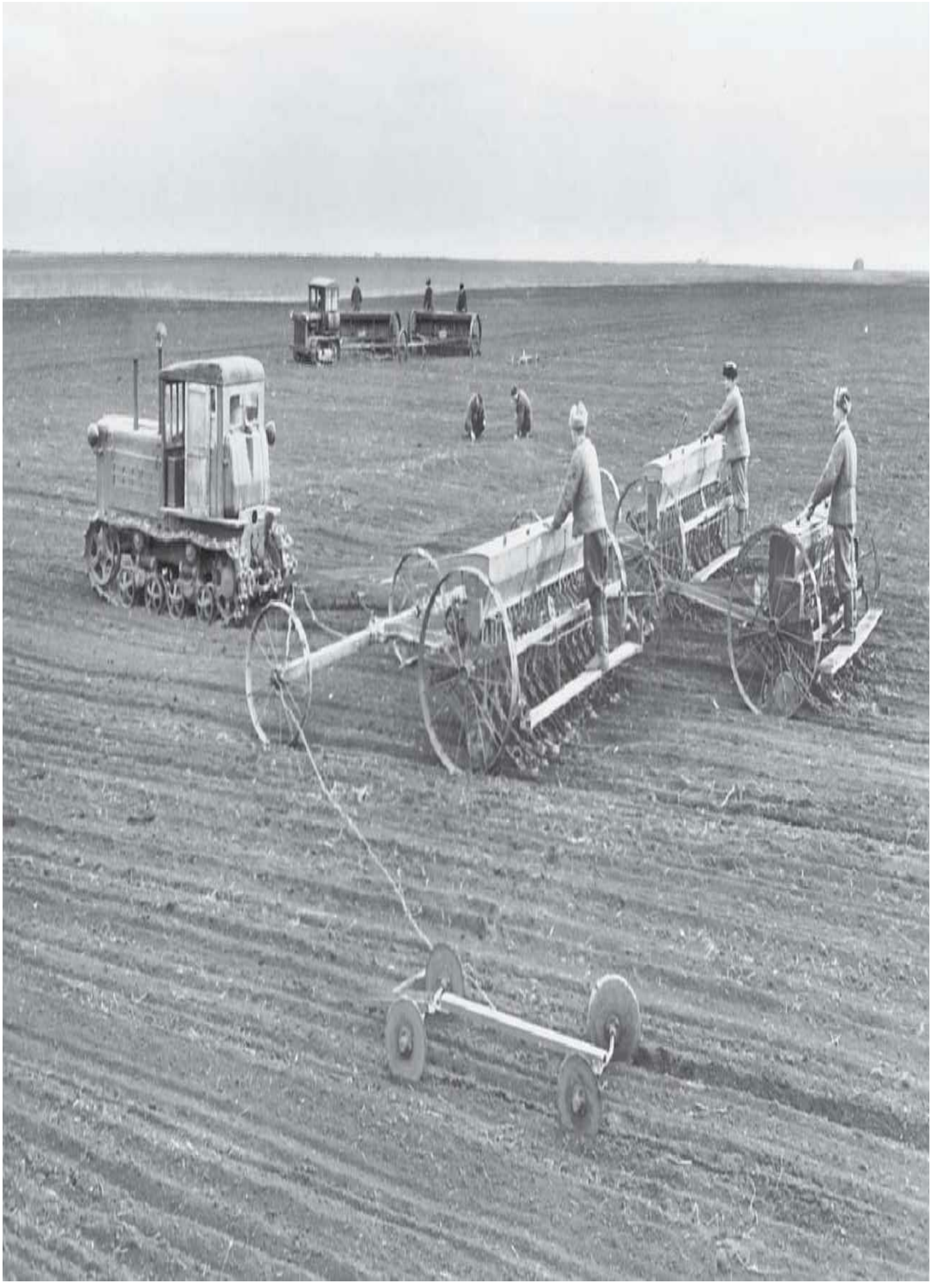
位于苏联乌拉尔地区（Urals）玛格尼托哥尔斯克的炼焦炉，是20世纪30年代大规模推动工业化的一部分。面对德国崛起的威胁，还有创建工业化无产阶级的意识形态需要，斯大林认为他必须让国家尽快工业化。他试着在苏联创建起共产主义时，完全没考虑到环境。事实上，全球各地的共产主义者都认为通过劳动能重新改造自然，使其完全用来造福人类

社会主义偏好大型计划，特别是苏联与东欧的社会主义，表面上这是为了实现规模经济，但也成了一种意识形态、宣传策略，最后则是自我终结。这种有如巨人症的现象，最著名的影响反映在建筑与雕像上，但在工业、森林与农业上也可以看得出来。苏联常兴建巨型工业区，例如诺里尔斯克与玛格尼托哥尔斯克（Magnitogorsk），但这也造成污染的集中。由于苏联第一次推行五年计划时（1929—1933年）遭遇木材短缺，数百万名囚犯与集合农场工人被送到森林，以便尽快砍伐林木。结果森林砍伐与侵蚀造成伏尔加格勒河沙洲堆积，这条苏联主要的水路交通因此受限。[17]在集体化农业方面，他们不只设立了大型农场，还有一望无际的广阔农田，规模超过达到机械化效率所必须的水平。这造成了极度严重的风蚀与水蚀现象。[18]这种巨大畸形现象，再加上马克思信徒对征服自然的狂热，导致咸海逐渐死亡、全球最大人工湖与全球最大水坝的兴建，还有无数以“修正大自然错误”为目标的大型计划。[19]

至少在巩固权力之初，共产主义也同样抗拒科技创新。由于五年计划具有固定的生产配额，苏联与东欧工厂领导人根本没有余力测试新科技。补贴能源价格让苏联与东欧的工业僵化，以至于1990年大部分钢铁厂仍在使用平炉式（open-hearth）制作工艺，而这种19世纪的发明，在日本、韩国与西方国家早已被取代。政治体系妨碍了去碳化与去物质化（指以低碳替代方案取代高碳产品及活动），最后让苏东国家成为一个消耗大量能源且污染密集的煤炭城经济，而这个现象也推动了终结苏联集团。

渴望成为20世纪普世信条的共产主义，在追求经济增长时败下阵来，成功的却是另一种更具弹性且诱惑力的宗教。资本主义者、民族主义者，事实上这几乎涵盖所有人，包括共产主义者，膜拜的对象是相同的，因为经济增长掩饰了大量的罪恶。只要经济持续增长，印度尼西亚人与日本人就能忍受无止境的贪腐；苏联人与东欧人容忍粗暴的国家监控；美国人与巴西人接受了严重的社会不平等。为了经济增长的利益而保留社会、道德与生态弊端，的确，赞成这种做法的信徒主张，只有提高增长率才能解决这些弊端。经济增长几乎在世界各地成为不可或缺的意识形态。这是如何形成的？

这种类似宗教的全国性风潮，早在几个世纪前便已扎根，至少在古代中国与重商主义时期的欧洲是如此，但直到20世纪30年代大萧条时期过后才大获成功。在大萧条造成的紊乱之后，这股追求增长的狂热，就像外来入侵者闯入并破坏生态系统，在全球各地意识形态的田地上进行殖民：这就相当于心智上的穴兔。大萧条后，经济理性战胜了安全以外的所有顾虑。承诺带领大家找到圣杯的人都成了神。



图为1955年苏联南部克拉布斯诺达尔（Krasnodar）地区的列宁集体农场（Lenin Collective）。克拉布斯诺达尔曾经是库班哥萨克人（Kuban Cossacks）的家乡，拥有肥沃的大草原土壤，是20世纪一大谷物产区。20世纪30年代苏联实施集体化农业后，机械化与意识形态的承诺结合起来，鼓励设立大型露天田地的农场，但这也因此相当容易受到风蚀影响。有坦克式履带的拖拉机在泥泞的田地上相当有用

这些人都是经济学家，其中多为英裔美籍学者。借由刺激并管理美国与英国的经济，他们帮助两国在第二次世界大战中赢得胜利。美国在1945年之后成为国际霸主，确保美国的观念，特别是在美国最为成功的经济观，将广为各国所接受。同时苏联则在其地缘政治势力范围内改变路线，提供一种由工程师而非经济学家所管理的增长热潮。

终结大萧条与管理战时经济的成就，各界都归功于美国经济学家。在1935—1970年，他们获得了极高的声望与权力，似乎只要稍微调整财政与货币政策，就能操纵需求进而将失业率降至最低。他们进入了权力中心与学术界，在本国与海外建言献策，在世界各地训练出大批跟班，为知名杂志撰写专栏，抓住每个可以散播学说的机会。他们的神话地位导致各种教派出现，但在基本教义上看法相同。他们的观念相当适合许多社会的政治与社会形势，因而被视为正统。这一切关系重大，因为经济学家思考、写作与为问题提供解药的方式，完全无视大自然的存在。

这一点相当特殊。早期的经济学家，尤其是像托马斯·马尔萨斯牧师（Reverend Thomas Malthus，1766—1834年）与杰文斯（W.S.Jevons，1835—1882年），都极力将自然列入考虑范围。不过随着工业化、城市化与服务业兴起，到了1935—1960年，经济理论成了没血没泪的抽象概念，其中自然不过是装满可利用资源的仓库，甚至比这还不如。自然不会进化，在受到扭曲时也不会抽搐或调整。一度黯淡的经济学成了令人振奋的科学。1984年一位美国经济学家兴高采烈地预言经济将增长70亿年，直到太阳灭绝才会停止。连诺贝尔奖得主也可以说出“事实上，这个世界没有自然资源也过得下去”这种话，而完全不会损及自身声誉。[20]有很多极端的言论被奉为圭臬。如果犹太教与基督教的一神论将自然排除在宗教之外，（大约1880年之后的）英裔美国经济学家便是将大自然排除在经济学之外。

如果我们的世界还有很多空旷土地、不受打扰的鱼群与广阔的森林，臭氧层保护层也健全没问题，总的来说这股追求经济增长的狂热还是相当有用，有助于创造一个更拥挤、压力更大的世界。尽管失去了生态缓冲，其实质代价越来越高，但意识形态锁定还是同时主宰了资本主义与共产主义阵营。没有一个知名的经济学派能够解释自然资产的贬

值。真正的异端，也就是那些挑战经济增长的基本目标，并寻求生态系统价值认同的经济学家，直到20世纪末仍被视为局外人。[21]经济思潮并未随着它所造成的局势变化而调整，因而仍具有正当性，并间接造成了大规模且快速的生态变迁。将经济增长列为压倒性的优先，绝对是20世纪最重要的观念。

大约自1880—1970年，知识界联手否定大规模环境变迁正在发生。当经济学家忽视自然，生态学家则是假装人类并不存在。他们并未让人类事务的不确定性玷污他们的科学，而是挑出原始地区来监控其能量流（energy flow）与人口动态。结果当然就是没有任何政治、经济或是生态上的冲击。

环境观念

相较于20世纪的主流观念，环境思潮在1970年前并未受到太多重视。像美国的奥尔多·利奥波德（Aldo Leopold，1887—1948年）这样尖锐的观察家，针对森林、野生动物、土壤与生物地球化学流（biogeochemical flow）的变迁发表意见。[22]对于地球资源耗尽的恐惧，虽然长久以来都未应验，但还是引发哀悼与警示。不过这些观念的信徒有限，实际上也起不了什么作用。环境思潮只吸引了社会上一小部分人。到了1910年，西方世界几乎每个角落都有小型的自然保护社团。可以说是孤立于经济用途之外的自然保护区与国家公园，在1870年之后开始崛起，最早始于澳大利亚与北美，因为这些地区在原住民与美洲印第安人几乎完全消失后，空出了大片土地。这种做法在各地引发仿效，但大部分国家的保护区与国家公园都很小，以配合现有的经济活动。因此，这些计划鲜少真能让环境变迁的动能趋缓。不管这些观念如何健全、说得如何漂亮，仍然无法切合时代的需求。[23]这个现象在20世纪60年代开始产生变化。

20世纪60年代是个动荡的时期。从墨西哥到印度尼西亚，从中国到美国，广为接受的见解与当局政府都受到勐烈的攻击。在这些激烈情势所孕育出来的众多观念与运动当中，有两种最为长寿：女性平权与环保主义。环保主义（简单定义为：认为人类应该与自然和平共存而非征服自然）成功背后有许多原因。在工业国家，污染的负担与危险化学物质已快速累积了数十年之久。财富累积（并通过福特主义散播）的程度，

足以使多数人民有能力担心金钱以外的事物。就某种意义而言，工业国家在1945—1973年这段时期的经济增长，引发了自身在环保主义方面的对立。[24]


ROYAL

1962年，曾为政府生物学家的蕾切尔·卡逊出版了《寂静的春天》来抨击美国滥用杀虫剂。通过这本书、其他著作与1962—1963年在媒体的高曝光率，她带动了美国人对于杀虫剂与环保方面的关注。如果提到美国现代环保主义的先驱，绝对非卡逊莫属。本图摄于1963年，数月后她便因癌症过世

成功的观念，需要好的沟通者才能让各界广为接受。环保主义最有效率的一位催生者，就是蕾切尔·卡逊（Rachel Carson，1907—1964年）这位文笔犀利的美国海洋动物学家。她在美国渔业管理局工作时开始发表文章、出版书籍，其中大部分与海洋生物有关并获得广大读者的回响。1962年她大力抨击任意使用杀虫剂的著作《寂静的春天》（*Silent Spring*）问世，将农药公司比喻为文艺复兴时期爱好下毒的博吉亚家族（the Borgias）。这为她招来指责，化工厂商与美国农业部都批评她是个歇斯底里且不懂科学的女人。相关争议让卡逊与恶意批评她的人在1963年登上全国性电视节目。但她所提供的科学信息——主要有关DDT及其他杀虫剂对鸟类的毒性——多半相当合理，所传达的信息也相当成功。在极具影响力的杂志《纽约客》上连载后，她的书成为被翻译成多种语言的畅销书。不顾美国农业部反对，肯尼迪总统在政府召集专门小组以调查杀虫剂问题，得到的结果也与卡逊的说法一致。后来还有小学以卡逊命名，她的肖像也被印在邮票上。[25]

如果换个时代，卡逊的观念可能会遭到忽视。[26]相反地，她以及数百名像她一样的人，启发了许多人的追随与仿效。数百万人这才发现，他们早已熟知的污染，其实是不必要且无法忍受的。1970年地球日（Earth Day）活动动员了大约2000万美国人，集会抗议对大自然的破坏。到了20世纪80年代，各界对热带雨林砍伐、气候变迁与臭氧层稀薄的焦虑，进一步刺激了环保主义兴起（并增加了新的焦点）。1990年地球日吸引了140个国家共2亿人参与。具有全球性影响力的美国流行音乐，也把环境列为曲目的主题。[27]希腊东正教（伊斯坦布尔）牧首（Greek Orthodox Patriarch）等宗教领袖也拥抱环保主义，某些基要派宗教团体亦然。[28]大科学（Big science）与出资政府的观念也改变了。联合国在1971年发起“人与生物圈”（Man and the Biosphere）研究计划，到了1990年大部分富国都已经成立全球变革科学计划。到了1998年，这些计划加起来成了史上规模最大的研究计划。[29]

在1960—1990年，发生了一个重大且可能撼动（或者拯救？）地球的转变。长久以来数百万人视为只适合用来排水的沼泽，现在成了值得保存的湿地。狼从过街老鼠变成了高贵的野生动物。一度被认为将带动丰饶未来的核能，在政治上已变得完全不能接受。污染不再是工业化财

富的象征，而是危害自然与社会的罪行。人们开始产生这些观念，只是强调的重点与承诺的程度不同。根据这些观念所发起的运动分歧相当大，但在观念的转变这点上却是一致的。成套包装的观念被证实相当成功，以至于到了20世纪80年代末期，石油公司与化工厂开始授权并指示公关人员塑造新的“绿色”形象。尽管此一转变的诚意一直为人们所质疑，但这种有如遮羞布的做法，显示环保主义已经降临到意识形态领域。这股大规模的知识与文化转变始于富国，但在世界各地都冒出头来。环保主义有许多方面，各有其不同主旨与议题。只要相关问题遭到系统性压抑——苏联集团有些国家将生态数据视为国家机密——很快就会带动推翻政权的行动。像印度这样贫穷的国家，活跃的环保团体自1973年开始兴起，到80年代开始联合起来。在贫穷国家，环保主义通常与水源、鱼类或森林相关的社会抗争纠缠在一起，和大自然或自然保育的关系不大。1997年一项调查发现，人民最有意愿放弃金钱来抑制污染的国家为印度、秘鲁与中国。[30]这股新潮流需要等数十年后才能看出它的完整意义，甚至数百年都有可能。[31]

国际政治与战争

就如同观念一般，政治上也是如此。环境变迁最重要的政治力量是在偶然且不知情的情况下发生的。明确而有意识的环境政治虽在1970年后影响力日增，却仍须在传统政治的阴影下运作。不论从国际或各国的角度来说均为如此。

对安全的焦虑与对环境的冷漠。20世纪国际体系最主要的特色，就是高度动荡不安的状态。以过去几个世纪的标准来说，经济大国与人口众多的国家做生意时往往会想到战争，尤其是1910—1991年。两次世界大战都相当耗费心力。因为只要毫无准备，就必须付出代价，停战期间各国对安全的焦虑升高，尤其是冷战期间（1945—1991年）。在这种情况下，国家与社会有很强烈的动机来扩大军事力量、针对经济进行工业化（与军事化），到了1945年后则是发展核武器。套用进化论者的语汇来说，国际体系违反生态节制，严格地选择了基于短期安全考虑所主宰的政策。

对安全的焦虑，在环境方面造成了无数的衍生物。1870年法国战败后，军队被授权保护法国东北部的公有与私有森林，用来重新设立边境

防卫系统，沿着防御稳固的狭长廊状地带引开德国入侵者。（1914年德国再度入侵时是借道比利时）。许多情势紧张的边界因为禁止一般人类活动，而成了名副其实的自然保护区（例如保加利亚、希腊、韩国与朝鲜之间的非军事区，以及伊朗、苏联）。但其他边境地区成了密集屯垦等行为的目标以确保主权，后来更遭遇大规模的森林砍伐，例如巴西与厄瓜多尔尔境内的亚马孙雨林。许多国家优先考虑地缘政治，修建道路与铁路系统，像沙俄时期的西伯利亚大铁路、希特勒的高速铁路（autobahns）、美国州际公路系统，以及巴基斯坦与中国之间的中巴国际公路。这样的大型运输系统免不了会影响土地利用模式。土地利用有时会遭到刻意变更以利于军事运输。1921年以前，英国人便在印度利用灌溉开辟大片草地以饲养马匹供印度军队坐骑。[32]

安全焦虑所引起最严重的环境效应，通常来自军事工业设施的建设。第一次世界大战后很明显可以看出，军事力量中最主要的成分除了年轻的士兵之外就属重工业了。马匹与英雄主义已是过去式。20世纪所有强国都鼓励生产军火、船只、卡车、飞机及核武器。

相较于核武工业，军事工业设施无论在补贴、免受公众监督与影响环境范围方面均未有更多优遇。至少有9个国家创建了核武库，不过只有7个国家被公认（美国、英国、法国、苏联/俄罗斯、中国、印度与巴基斯坦）。以色列与南非发展了核武器，但假装没这回事。

美国大约在3000个地点设有武器设施。它制造了数千枚核弹头，其中有超过1000枚已做过测试。其中最受瞩目的是哥伦比亚河畔的汉福特工业区（Hanford Engineering Works），它坐落于华盛顿州中南部广大干燥地带的大规模炸弹工厂。这座工厂设立于第二次世界大战期间，投到长崎的原子弹就是在这里制造的。接下来50年间，汉福特释出了数十亿加仑的放射性废弃物到哥伦比亚河，还有更多不慎泄入地下水中。1949年苏联引爆首枚核弹后不久，美国人就在汉福特进行秘密实验。来自苏联核试验的辐射落尘，引发各界质疑苏联能够多快处理钚物质。为此美国官员决定使用“新鲜”的铀（green uranium，也就是离开反应堆不到20天），来测试他们对苏联相关实验的假设。这个被内部人员称为“初次试车”（Green Run）的秘密实验，释放了将近8000居里的碘—131，下风地区因此测出超过当时认定为可容忍剂量的80～1000倍的辐射。1986年汉福特成为美国第一个公布武器生产造成环境影响相关文件的核武设施，当地人才得知曾经发生这些事件。这次测试显示出，在冷战期间对安全焦虑的影响下，美国人在环境方面所采取的贸然态度。[33]

但这只是冰山一角。在环境上造成更严重结果的是废弃物。冷战在最为激烈的时期，废弃物是留待未来再去顾虑的问题。半个世纪的武器生产在全美留下了一个大烂摊，其中包括数千万立方米的永久性核废料。清理其中一部分便预期要花上75年，成本在1000亿～10000亿美元之间，是史上最大规模的环境整治计划。完全清理是不可能的，光是汉福特一地就掩埋了超过半吨的钚。[34]

苏联的做法更为大胆。他们的核武计划始于斯大林，当时他希望尽早研发核武器，不管这会对人类或环境带来何种代价。正好苏联的计划经济（command economy）对此相当擅长：不出几年大型核武器设施便从无到有。苏联制造了大约4.5万枚核弹头，1949—1991年引爆了大约715枚，地点多为塞米巴拉金斯克（Semipalatinsk，位于现在的哈萨克斯坦斯坦）以及北极的新地岛（Novaya Zemlya）。他们使用核爆来制造水库与运河，并用来开辟矿井。在1972年与1984年，苏联引爆了三枚核弹，试图开采出含有（制造肥料用的）磷酸盐矿石。他们将许多核废料倾倒至海中，其中又以北冰洋最多，有些甚至倒在浅水海域。他们让无法运作的核潜艇沉入海中。全球已知的核反应堆事故，多半发生在以阿尔汉格尔斯克（Archangel）为基地的苏联北海舰队（Northern Fleet）。

苏联只有一个废弃核燃料处理中心，位于西伯利亚西部鄂毕河上游的马雅克（Mayak）核设施，而这里也是目前全球放射性最强的地方。它累积了26吨的钚，是汉福特总量的50倍。从1948—1956年，马雅克核设施将放射性废弃物倾倒至捷恰河（Techa River）。捷恰河是鄂毕河的一条支流，也是附近一万至两万人口唯一的饮用水源。1952年后，马雅克核设施最危险的废弃物都装在储存槽里，但1957年其中一座爆炸，造成邻近地区落下2000万居里的辐射，大约是切尔诺贝利事件释出辐射剂量的40%。1958年后，液体废弃物开始储存在卡拉恰伊湖（Lake Karachay）。1967年一场干旱造成湖底放射性淤积物暴露在大草原的强风下，造成的落尘辐射量为广岛原子弹爆炸的3000倍，相当于比利时的面积，有50万名不知情民众受害。到了20世纪80年代，只要站在湖边一小时就能受到致命剂量的辐射［每小时600伦琴（roentgen）］。苏联最高苏维埃核安全分委会（Supreme Soviet’s Subcommittee on Nuclear Safety）前任主席亚历山大·潘亚金（Alexander Penyagin）认为马雅克的情况相当于100个切尔诺贝利事故。因为核设施太庞大且相当隐秘，因此没有人知道苏联核污染的程度究竟为何。设施多半在苏联末期关闭，但问题还在，而俄罗斯也没有足够财力进行清理。[35]

所幸，英国、法国、中国、印度、巴基斯坦、以色列、南非（以及少数其他几个）等国核武计划的致命残余物，还不到超级大国的规模。[36]从整体来看，这些计划不止将管理废弃物责任的负担加诸后代子孙身上，1940年之后全球所使用的商业能源中，也有将近1/10用在这方面。[37]未来历史学家必须费尽心力对后代解释，是冷战时期的焦虑，导致尽责的官员准许以马虎的方式生产核武器并处理废弃物。

战争与环境　以战争之名所造成的环境破坏，比战争本身所导致的还要严重。20世纪多的是长期战事，但大部分与战事本身相关的环境变迁其实都很短暂。1944—1945年轰炸机几乎将柏林与东京大部分地区夷为平地，但两个城市都在10～20年间迅速恢复。美国轰炸机在越南炸出大约2000万个弹坑（1965—1973年），但这些坑洞多半都被植被覆盖，有些后来还被当作鱼池。[38]中国全面抗日战争期间（1937—1945年），国民党为了阻断日军前进，在1938年破坏了多处黄河堤防。这可能是损害环境最为严重的一次战争相关行动，造成数十万中国人民（与数千名日本人）溺毙，三个省份内数百万公顷农田损毁，并淹没11个城市与4000座村庄。但存活下来的中国人民，在短短几年内便修复了所有损坏的部分。第一次世界大战期间加里波利（Gallipoli）西部前线战事紧张，还有第二次世界大战期间德国与苏联在战斗上所采取的焦土政策，都各自造成了严重的环境伤害。但通过大自然作用不懈，即使是发生过最激烈战斗的地点，战争所留下的痕迹也都逐渐被掩盖，并逐渐融入四周的乡村景致，除了那些刻意保留为战场遗址的地点。1991年海湾战争期间，伊拉克军队燃烧石油造成火光点亮夜空，并将石油倒入深度不深且生态丰富的波斯湾。燃烧的油井被盖上后，空气污染在几个月内便逐渐散去，不过海洋生态花了好几年才逐渐恢复。战事所造成的环境变迁多为短暂，海湾战争可以称得上是个特例。[39]

像中国这样由灌溉工程支配环境的地区，最容易受到战争摧残，森林砍伐也需要更长的时间才能复原。旱地农业很快就能从战争中恢复，平均大约在三年以内。草原与草地需要的时间稍微长一点儿，可能得花上十年。但森林就需要一到三个世纪。几个世纪以来砍伐森林一直是战争的特色，像恺撒就焚烧了高卢森林。20世纪著名的游击队战术，森林砍伐就扮演了异常重要的角色。许多发生在非洲与东南亚的殖民地抗争也牵涉到游击战。冷战期间，许多发生在非洲、亚洲与中南美的代理人战争（proxy war）亦是如此。游击队必须找地方躲藏，而森林提供了绝佳的掩护，因此反游击军队就会破坏森林。有时游击队也会破坏森林，多半是针对握有强权或合法军队所发动的纵火行动。

20世纪科技让森林砍伐比威廉·西泽·舍曼（William Tecumseh Sherman，1820—1891年）时代更加容易。法国在里夫战争［1921—1926年，摩洛哥柏柏尔人（the Berbers）起义对抗西班牙与法国殖民强权］时率先使用燃烧弹轰炸森林。第二次世界大战时以喷火器发射的凝固汽油弹（napalm）首次出现，希腊内战期间（1944—1949年）证实它对破坏森林覆盖相当有效，后来也成为美国在越南战争中所使用的主要武器之一。20世纪50年代马来西亚发生暴动后，英国开始使用化学落叶剂。美国人也在越南大量使用这种化学药剂［例如橙剂（Agent Orange）］。始于1979年的阿富汗战争中使用了各种高科技落叶剂。上述以及其他上百个类似案例，是战争造成持久性生态影响的其中几例。[40]

除了战斗，战争相关事务也造成其他的生态影响。在威内托（Veneto）阿尔卑斯山的喀斯特石灰岩地区，第一次世界大战军火垃圾场中的铜流入了地下水。80年后有些温泉简直成了“小型铜矿”。第一次世界大战期间欧洲对小麦的需求，导致美国西部大平原大约600万公顷（面积相当于西弗吉尼亚州或斯里兰卡），还有加拿大大草原省份更多的草地转为耕地。这助长了20世纪30年代的沙尘暴事件。第二次世界大战期间英国消耗了国内大约半数的森林。战争期间美国在俄勒冈州波特兰市建造自由轮（Liberty ships），每艘只需短短11天，由于过程中必须耗费大量电力，因此成为在哥伦比亚河上增建水力发电大坝的理由（20世纪30年代末已兴建两座大型设施）。疯狂提高食物、燃料、矿物与其他资源产量的做法，也在每个参战国导致严重的生态干扰，正如道路与铁路兴建所带来的结果。近年来，老挝与缅甸东部内战中的好战分子，则授权泰国伐木公司砍伐他们势力范围内的森林，以取得活动经费。[41]

借由压抑正常经济活动，战争会暂时降低部分的环境压力。尽管潜水艇战有深水炸弹与石油外泄的问题，但因为战争期间渔船不得出海，第二次世界大战期间北美鱼群总算得以恢复平静的日子。至少在欧洲与日本，工业排放也因为煤炭短缺与工厂遭到破坏而趋缓。伊拉克在科威特沙漠埋设的地雷让人不敢接近，20世纪90年代当地动植物生态也因此恢复。[42]战争对环境有其冲击，偶尔相当严重但通常稍纵即逝。更严重的变迁，则是来自工业战争不顾一切后果的备战与动员。

帝国主义、去殖民化与民主化　国际政治乃通过战争以外的手段进行。在此我将简短就两方面讨论：首先是帝国主义与去殖民化，接着为

民主化。20世纪初期，俄国、日本、美国，尤其是西欧列强都开始扩张帝国势力。这通常会牵涉到既有人口的迁移，就像南非与阿尔及利亚的例子。殖民强权将地方经济重新调整为矿业与伐木导向，还有棉花、茶叶、花生或剑麻（sisal）出口单一作物栽培。通常这些改变都是不加考虑而强行加诸环境的后果：唯一的目标是让国家与实业家获利，并确保宗主国随时能取得战略性矿产。到了20世纪40年代，法国与英国将马里转向棉花种植以及将坦噶尼喀（Tanganyika）改生产花生时，至少还宣称将地方利益放在心上。但由于忽略生态，它们还是在马里的尼日尔尔河弯道地带造成盐化现象，坦噶尼喀中部边缘地带也变成毫无用处的硬土层。[43]

令人意外的是，去殖民化后上述现象改变不大。新的独立政权往往延续前朝的经济政策。在加纳、苏丹与印度这些地方，可以增加声望的大型计划，接续了殖民地时期对环境的操控。经济较弱的政权（例如印度尼西亚、巴布亚新几内亚与科特迪瓦）经常不顾环境冲击，快速廉价出售木材与矿物。许多统治者通过政变上台，自然想要在被下一个军事领袖取而代之以前，让利益落袋为安。苏联中亚地区去殖民化后，扼杀咸海的水利系统并未因此改变。环境事务就像许多其他方面一样，独立后改变的不过是换个国旗而已。

民主化就是另一回事了。20世纪70年代全球民主化浪潮席卷希腊与伊比利亚半岛，80年代是拉丁美洲与东亚，90年代则轮到部分东欧与非洲国家。部分国家的环保抗议行动适度地协助了破坏独裁者（例如智利）以及社会主义政权（波兰）的正当性。这些政权过去一直鼓励高污染经济模式，为了追求国力与经济增长，不顾生态影响而任意开采资源。这些国家通常严格管控生态相关信息。民主化破解了这些政权对信息所享有的控制权，让所有环境问题得见天日。由外国人士、军方或特定工厂所造成的环境问题常被拿出来讨论，有时也获得解决。因为一般民众消费模式所造成的问题，常因民主制度而更加恶化，像东欧与俄罗斯就为鼓励私有车辆而减少公共运输补贴。此外媒体只注意特定种类的环保问题，通常是像工业灾害或核议题等会引发极度恐慌的事件。土壤侵蚀或丧失生物多样性这类进展缓慢的危机仍然藏在暗处，不但对媒体与公众来说都没有吸引力，对只着眼于下次选举的政客来说更是完全不相干。民主制度下往往会产生自有特色的环境。[44]



印度第一位总理尼赫鲁，将印度的未来规划为全球经济中的工业发电厂。他希望1947年印度自英国独立后，能借由国家扶植工业化来脱离贫穷与弱势。这股野心延伸到农业，尼赫鲁希望以机械化与大规模灌溉工程带动农业现代化。就像许多刚刚摆脱殖民化的国家领袖，他希望尽快弥补殖民统治时期的损失。图为1949年尼赫鲁在芝加哥考察国际收割机公司（International Harvester Company），由该公司的莱雪斯（R.H.Reishus）带路参观一处拖拉机工厂的情况

上述所有20世纪国际政治的浪潮——安全焦虑、帝国主义、去殖民化、民主化，以及影响程度可能较小的战争——都深深塑造了20世纪的环境史。由这些浪潮所造成的环境变迁，几乎都是为了政治及其他目的所设计之政策下不经意造成的后果。与此同时，各国也协商出数百件环保协议，替未来一个可能相当松散的环境治理机制埋下种子，但前提是塑造了20世纪的安全焦虑必须先行解除。

环境政治与政策

相较之下，以环境考虑作为有意识因素的政治与政策，效果尚佳。就这点来说，环境政治与政策直到20世纪60年代才打开。在这之前，地方性、国家与国际法规和条约规范了某些方面的污染、土地利用、渔业与其他议题。烟害防治条例至少可回溯到700年前。英国针对特定污染源成立管理单位，就是1865年的化学碱调查组织（Alkali Inspectorate）。但这都没有经过协调，每个特定案例都有特定的政策与法规。[45]在国际方面，邻国间不时会同意限制捕鱼或用水。1911年一项多边协议禁止在白令海普里比洛夫群岛（Pribilof Islands）猎捕海狗。1865—1900年，俄国、日本、加拿大与美国猎人几乎让海狗绝迹。1916年以前美国与加拿大达成多项野生动物保护协议。[46]第二次世界大战的余波之一就是出现许多国际组织，其中也包括一些环境相关团体，像是国际自然保护联盟（IUCN）。其他组织则在没有明确焦点的状况下进行环境规范，例如国际卫生组织、联合国粮农组织与联合国教科文组织，都成立于1945—1948年。但并没有像这样处理环境问题的整合性政策与政治风潮。这个现象到20世纪60年代，因全球思潮动荡带来直接影响才有所改变。

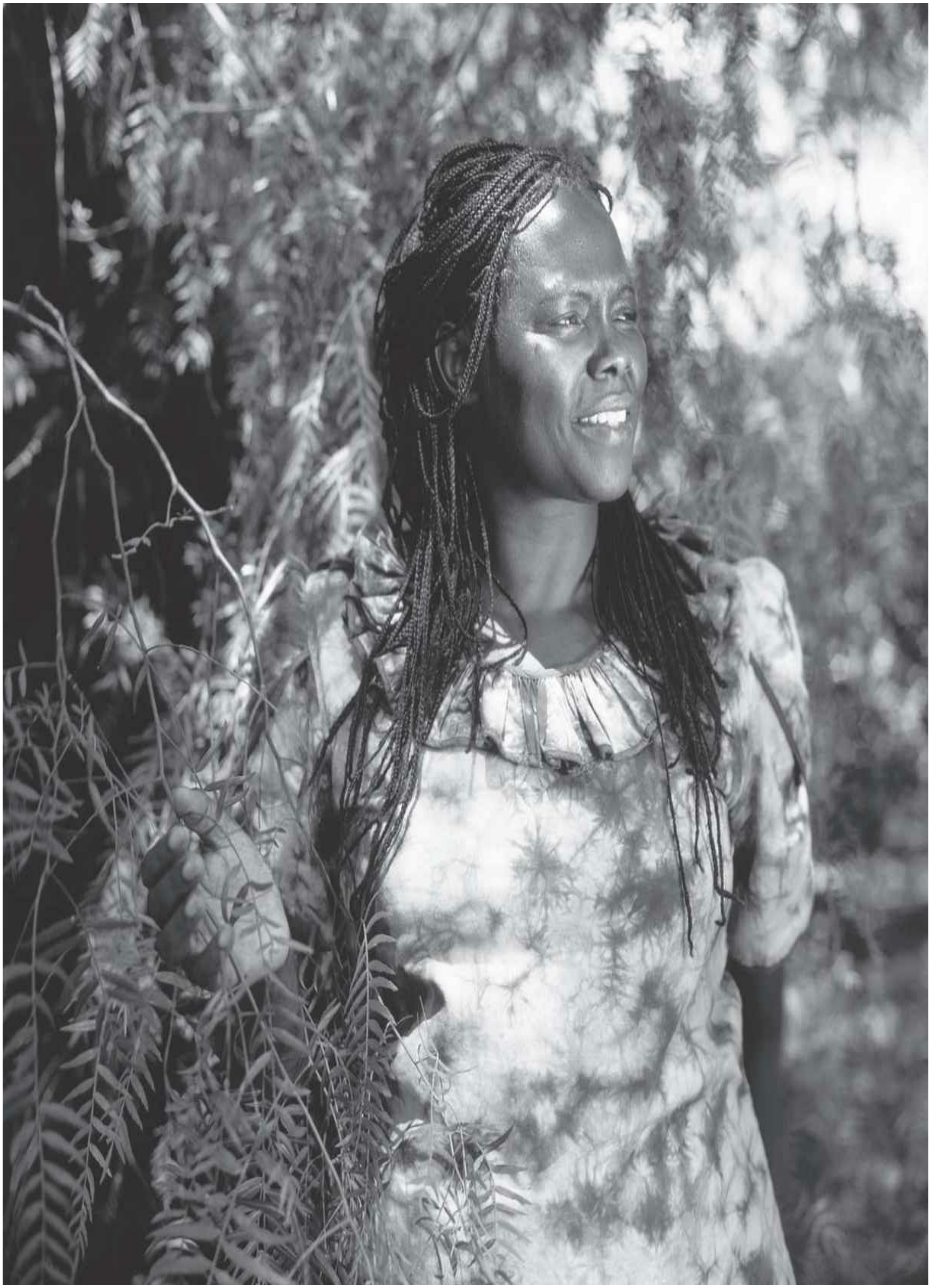
20世纪末的环境政治与政策中，可看出两个约略不同的时期。第一个时期始于20世纪60年代中期，持续到70年代末。在这个时期中，富国兴起了环境运动与（某些案例中）相关政党。兴起于20世纪60年代末期的新西兰价值党（Values Party），是第一个公开宣扬环保的绿党，但并

不成功：大约15年后就分裂并沦为新西兰政治的边缘政党。环境运动主要聚焦在污染议题，但也关注对资源耗竭的恐惧，尤其是在1973年石油输出国家组织采取行动后。各国政府设立负责整体环境保护的新单位以为因应。瑞典（1967年）与美国（1970年）率先行动：尽管（1972年）已于斯德哥尔摩首次召开国际环境会议，国际合作机制仍效果不彰。这导致联合国环境署的诞生，总部则设于内罗毕。

第二个时期始于大约1980年，当时穷国成立了自己的环保单位，其中多半属于部会层级。在尼日尔利亚或苏联等许多案例中，环保法令与政策只是纸上谈兵。像安哥拉或阿富汗这些国家战争不断，代表连纸上谈兵都不可能。但在印度、巴西、肯尼亚等地，草根性的环保运动开始萌芽，且通过公民不服从（civil disobedience）或官方渠道影响了国家政治。到了20世纪80年代，印度号称有数百个环保团体，从扮演监督角色的科学研究机构——例如新德里的科学与环境中心——到主要由农村妇女所组成的联盟，例如以阻止喜马拉雅山脉伐木为主旨的抱树运动（Chipko Andalan）。这些运动常由最易受薪柴短缺（几乎每个地方捡柴都是女人与小孩的工作）、土壤侵蚀（在由女性耕田的地区，如非洲大多数地区与印度境内的喜马拉雅山区）及水源污染（女性负责取水，并负责孩子的健康问题）影响的妇女所领导。致力于推动植树的绿带运动（Green Belt），即于1977年由肯尼亚全国妇女委员会成立。从1981年到1987年，此一运动均由万加丽·玛塔伊（Wangari Maathai）这位曾担任兽医解剖学教授的女性领导。通常这些草根环保运动都根植于农民抗议活动或其他社会抗争。如果势力够强，这些运动就能获得政府方面某种程度的妥协，反之则会强化权力中心反环保的态度，无意间让精英阶级将环保主义与颠覆及叛国划上等号。绿带运动后来证实势力足以对土地政策产生影响，进而引发反弹：到了1993年此一运动在肯尼亚种植大约2000万棵树，但官方发言人极力毁谤玛塔伊，政府的打手也不止一次殴打她。[47]

同样在第二个时期，富国的环保政治则因为新的考虑而出现了新的方面：热带雨林、气候变迁、臭氧层耗竭。在美国，一项以减少环保法规为目的的意识形态改革运动（约在1981—1984年）死灰复燃，里根总统手下官员所发表的挑衅发言，成为环保团体招募成员的工具。[48]美国在环保创新制度与规划方面的领导地位由北欧国家取代，尤其是荷兰，后来则以日本领先。绿党开始登上政坛，甚至进入部分国家的国会（例如1983年的联邦德国）。1998年德国绿党参与了联合政府，其成员甚至担任部分重要部长级职位。欧洲人根据法团主义（corporatist）传统

（也就是政府、企业与劳工团体经长期协商后达成协议），率先针对环境节制实施共识政治（consensual politics）。尤其是荷兰，1989年起便达成一项整合性的全国环境计划，以驾驭主要部门与特殊利益团体抵抗生态谨慎性原则的权力，例如农业综合企业（agribusiness）。[49]



第二个时期的特色是前所未见的国际合作。像酸雨或臭氧层耗竭这样区域性与全球性的问题，需要新的负责机构、协议与约束机制。里根政府起初采取尽可能破坏的态度，但发现无论是在国外或国会内部盟友都越来越少。1987年（请见上文）美国国会协助逼迫世界银行创建环境意识。同年，由联合国赞助调查环境与经济发展关系的布伦特兰报告（Brundtland Report），四年后所发表的成果，为环境规划、约束机制与生态可持续发展的雄心提供了知识性的基础。蒙特利尔议定书（Montreal Protocol，1987年）与后来的协议，证明了立意良好的科学与外交有极大贡献。从20世纪60年代中期起签署了数千项国际环保协议，其中许多效果显著。乐观的观察家认为，这种新成立的“全球性治理机制”可以解决全世界的跨国环保问题。[50]

自1967年起，上述所有现象为富国带来了极大的冲击。在技术与政治上最为简单的环境问题的确大幅减少。工业废水被净化，造福了莱茵河、北美五大湖等地；二氧化硫排放减少；含铅汽油走入历史；城市下水处理系统获得改善。整体而言，来自单一机制或来源的问题都能成功解决。至少在初期，地方性的解决方法只会将恶果导向其他地方，例如加高烟囱。更具系统性的解决方法，有时在特定任务上相当成功，但同时也会加重其他问题。用来控制烟囱微粒排放的洗涤塔（scrubber）会使酸雨更加严重。其中最严重的是那些源于公民行为或不同来源的问题。举例来说，来自车辆废气与有毒农场径流的一氧化二氮，便在北美与欧洲持续增加。

除此之外，在大部分的富国中，某些势力庞大的产业通过不断发动诉讼，或控制具有决定权的政府部门，成功地抵抗了环保法规。这让运输、能源与农业综合企业无法进行真正的改革，而它们所造成的无数环保冲击也几乎完全没有缓和。美国汽车业的反抗，成功地抵制了燃料效率标准。德国煤炭工业得以保留巨额补贴。加州农业综合企业用水的价格低到不行。影响环境的重大决策，往往仍是重要政府部门——贸易、财政、工业、农业——而非环保单位的职权。

环境政治的可能性，也在国际层级面临局限。虽然20世纪80年代末期后美国更遵守国际协议，但还是努力让这些协议不会影响到自己。1992年里约热内卢所举行的联合国环境与发展会议（U.N.Conference on Environment and Development），美国明确表示该国的“生活方式”没有商量的余地。其他国家的立场也差不多。日本后来也顽强抵抗捕鲸禁令

（挪威也是）及象牙交易。沙特阿拉伯与其他产油国反抗碳排放相关协议。巴西坚持有随心所欲开发亚马孙雨林的权利，不论焚烧全球最大雨林会有什么后果。印度与日本拒绝加入蒙特利尔议定书，以及之后与破坏臭氧层的氯氟碳化合物相关之协议，并坚拒为了它们自己或者全球环境的利益，而在工业发展方面有所妥协。在面对本国环保法律与富国接轨的压力时，墨西哥与其他许多国家都采取抗拒态度：法令（或执行）较为宽松的国家，跨国企业也一定更愿意投资设立新的钢铁厂与化学工厂。虽然20世纪末的国际环境政治圈中有许多断层带与联盟，最主要的分野还是在穷国与富国之间。也许不尽符合地理现实，但还是可以称之为南北对立。1992年的里约热内卢会议就是这种对立的实例，而其中最棘手的就是气候变迁协议，直到1999年仍只达成一些不痛不痒的协议。

简而言之，无论是1970年之前还是之后，姑且不论好坏，真正的国际或各国环境政策都是传统政治与政策不经意所造成的边缘效应。撒切尔夫人通过破坏工会制度的政治力量，赶走了煤炭工业，英国因此得以在1985年后降低硫排放量。农场补贴（尤其是在日本与欧洲）助长并维系了依赖化学品的农业模式，并造成高密度的猪群与牛群数量，进而导致有害的后果。[51]苏联与中国的政策降低了中亚游牧民族的行动能力，使得过度放牧与沙漠化的现象更加恶化。[52]20世纪60年代中国的集体化政策与“文化大革命”，破坏了原本乡村对婚姻与生育所加诸的限制，引发了后来自20世纪80年代起造成各方面多重环境危机的严重婴儿潮。[53]中国的集体化制度也引发坦桑尼亚仿效，也就是20世纪70年代的“村庄化”（villagization）。这是非洲史上最大规模的重新安置计划，并导致深刻的环境问题。[54]即使在环境政治与明确环境政策的年代，真正的环境政策都是源自其他顾虑，反而是传统政治对环境史有较大的影响。[55]

结论

人类为自己所建构的大规模社会与意识形态系统，往往会为环境带来严重的后果，其程度并不亚于对纯粹人类事务的影响。在20世纪各种观念、政策与政治结构的旋涡中，对生态最具影响的，可能是对经济增长的迫切以及对安全的焦虑（两者并非毫无关联），而这两者也主宰了世界各地的政策。两者都反映知识界与政治界相当脆弱的特性，两者也都在20世纪的想象与机制下站稳脚跟。两者都与人口、科技、能源与经济整合等同步趋势与轨迹相符合，尤其是对经济增长的迫切。的确，成

功（也就是广为接受）的观念与政策必须符合这些趋势。

事实证明，与专制社会比起来，开放社会中的本国政治比较能针对扰民的环境问题做出回应。这种现象在1970年后特别明显，但人民所期盼的生态谨慎原则，明显有其限制。不管是何种政治系统，从地方到国际所有层级决策者，面对急迫危险（与机会）时都会迅速反应，但面对微妙而渐进的环境困扰时则不然。可能发生经济萧条或军事战败所引发的关注，是污染、森林砍伐或气候变迁所不能及的。增加就业、提高税收与增强军力都具有即刻见效的要求，这也是洁净空气或生态系统多样性所比不上的。

然而事情到1970年出现了新局面。相互联结且通常互相支持（并同步进化）的社会、意识形态、政治、经济与科技系统，也就是我们简称的工业社会，此时产生了许多运动，对这些看来正常的行径的适当性与谨慎度提出质疑。这些运动中有些与工业社会对立，谴责科技、财富与大型组织。其他运动则要求更多与更好的科技与组织，并增加弱势者财富，以作为环境问题的解决之道。至今这些新的运动只对事件发展带来温和影响，但它们毕竟才刚起步。在毛泽东时期长期担任总理的周恩来，是个相当老练的人，他在法国大革命爆发约180年后，被问到此一事件的意义时，他说这时评断还为时太早。只发展了35年的现代环保主义亦是如此。

20世纪的环境变迁无论在规模、密度与多样性方面都相当惊人，一定有多重且互为条件的起因。最重要且直接的原因，就是经济活动暴增。其次就是能源利用与人口增长长期处于荣景。经济增长之所以有其环境意涵，在于20世纪的科技、意识形态与政治历史。这所有的历史（以及更多我已省略的）相互影响，它们决定了环境史，并在某种程度上也由环境史所决定。

很少有人会停下来思索这复杂的关系。在追求生存与权力的过程中，以及利益与消费的喧嚣中，一般人很少会想到自身行为或观念所带来的生态冲击，会想到的统治者就更少了。即使1970年后环保意识仓促崛起，过于简化且善恶二分式的神话，主导了公众与政治论述。在这样的情况下，环境成果就如同过去那样，持续因为无意中带来的后果而持续浮现。许多特定的成果都是意外产生。但人类造成的冲击与影响日益增加，已是全面的趋势，正如本书所述影响了无数层面。虽然是无心之举，但主要还是受人类历史轨迹所决定。未来该何去何从？

[1]这可能也代表赢家接收的速度较快，因此随着时间、意识形态的转变（以及随之而来的社会与政治变化）也发生得比较快。马克思主义散播得比佛教、基督教，甚至是伊斯兰教都更快。

[2]在《圣经·创世记》9：1–3中，上帝对诺亚及他的儿子们说道："你们要生养众多，遍满了地。凡地上的走兽和空中的飞鸟，都必惊恐、惧怕你们；连地上一切的昆虫并海里一切的鱼，都交付你们的手。凡活着的动物，都可以作你们的食物，这一切我都赐给你们，如同蔬菜一样。"同样地，《古兰经》31：20说："难道你们不知道吗？真主曾为你们制服天地间的一切。"还有什么比这更能解读为允许人类挪用地球初级生产力？

[3]White 1967探究了犹太教与基督教共享传统中有关环境的指示。Tuan 1968断言东方宗教并未在中国历史中遏止对环境的伤害。另见Asquith and Kalland 1997（有关日本宗教的环境影响）；Bruun and Kalland 1995；Hou 1997；Livingstone 1994；Toynbee 1972以及Zaidi 1981（主张伊斯兰教对生态特别友善）。

[4]有关此一看法请见Ehrenfeld 1978、Merchant 1980与Opie 1987。

[5]一直要到大约1850年后，科学才有助于塑造科技。在此之前，科技变革主要来自对科学一无所知的技工。

[6]这些估计数字来自联合国环境规划署，由Prager 1993：61–2所引述。

[7]阿伯克龙比（Patrick Abercrombie），由Buller 1992：70所引述。

[8]Walter 1989.

[9]Gröning and Wolschke-Bulmahn 1987a,1987b,1991；在此感谢丹尼尔·英克尔斯（Daniel Inkelas）介绍这本文献给我。同时请见Nolte 1966：419–20；Rollins 1997。

[10]Kizaki 1938.

[11]墨索里尼也影响了意大利生态。他深信山羊这种动物不适合法西斯国家。在他统治期间（1922—1943年），山羊数量下滑1/3（McNeill 1992b：337–8）。希腊独裁者扬尼斯·梅塔克萨斯将军（General Ioannis Metaxas）在1939年针对森林发表了一次狂热的演说（Metaxas 1969,2：214–9）。有关葡萄牙森林复育与萨拉查（Salazar）的独裁，请见Brouwer 1995。罗马尼亚的法西斯团体铁卫军（Iron Guard），则誓言要"捍卫山林不受破坏"（Bramwell 1989：162）。

[12]请见Weiner 1988 and 1999：355–73。

[13]引自Shiva 1991a：17及Guha and Martinez-Alier 1997：156。后者第8章内容是关于甘地的环境思考。

[14]Chesnais 1995：171–73,177–8。齐奥塞斯库下台后，罗马尼亚的孤儿院仍是人满为患。

[15]有关民族主义与提倡生育，请见Ipsen 1996与Quine 1996。

[16]本段所引述摘自Ponting 1991：157–8（恩格斯与伯克洛夫斯基）、Manuel 1995：163（马克思），以及Hillel 1991：294–5（查祖宾）。古巴革命中典型的共产主义者切·格瓦拉（Che Guevara）对他的孩子表示："长大后要做个好的革命者。要用功读书，以熟知能够让你主宰自然的技术。"（Washington Post Book World,19 October 1997：10所引述）

[17]Andreev-Khomiakov 1997：29–38.

[18]Oschlies 1985就此主题讨论的保加利亚的例子。同时请见Ordos 1991；Jele.ek 1988,1991（有关捷克斯洛伐克）；Stebelsky 1989（有关乌克兰）。

[19]引用语摘自Adabashev 1966：110–4，主张将鄂毕河导往南方，制造出一个比里海还大的水坝，让北极冰帽融化，进而使日本的黑潮转向，并让苏联远东地区气候更为温暖。

[20]1974年诺贝尔经济奖得主罗伯特·索罗（Robert Solow），由Rees 1992：123所引述。上述有关长远前景的预测来自朱利亚·西蒙（Julia Simon），由Dryzek 1997：48所引述。

[21]这些边缘性观念，也就是生态经济学，Costanza 1997及Krishnan et al.1995均有列出。MartinezAlier 1987则讨论了这个领域的开路先锋。

[22]同样出身爱荷华的埃尔多·利奥波德（Aldo Leopold，跟华莱士与博洛格一样），在美国林业署工作，并着有《沙郡年记》（A Sand County Almanac，1949年）。

[23]（西方）环境思潮概况请见Bramwell 1989；Corvol 1987（有关法国）；Deléage 1992；Glacken 1967；Graaff 1982（有关荷兰）；Grove 1994；Hermand 1991与Ditt 1996（有关德国）；Pepper 1996；Teich et al.1997；Votruba 1993（有关捷克斯洛伐克）；以及Worster 1977。

[24]当然，环保主义本身也引发了对立说法：大意是说生态变迁其实微不足道或者相当自

然，又或者是由于一些无须忧虑的原因所引起。

[25]Lear 1997是最近的一本传记。卡逊的书可能是美国人所写过最重要的一本书。马汉上将（Admiral Mahan）针对海权的巨著，则是另一本足以角逐此一头衔的作品。

[26]在某种意义上来说确实如此：早在1946年就曾有人针对DDT的伤害提出警告（但说法较为模糊）。

[27]例如马文·盖伊（Marvin Gaye）、琼妮·米切尔（Joni Mitchell，加拿大籍）、亚拉巴马合唱团（Alabama）的歌曲。这些歌手涵盖了美国流行音乐多种领域，包括都会灵魂乐、流行民谣与乡村音乐。

[28]有关新教的绿化请见Oliver 1992。部分基要派基督教徒认为，让上帝创造的生物灭绝是一种罪恶，因此支持生态保育。《经济学人》（The Economist,21 December 1996：108–9）曾检讨全球宗教与环保主义之间的关联。

[29]或者说美国国家科学基金会官员是这样认为：1997年约有2000个科学组织进行全球变革研究计划或监控活动。

[30]该调查由国际环境学调查公司（Environics International，位于多伦多）进行，由《华盛顿邮报》报道（Washington Post,22 November 1997：A15）。人民最支持将环保列为优先于经济增长的国家为新西兰、加拿大、瑞士、澳大利亚与荷兰。倾向程度最低者为乌克兰、尼日尔利亚、波兰与匈牙利。同时请见Guha and Martinez-Alier 1997。

[31]吕克·费里（Luc Ferry）在一篇论文中（1995年）主张，深层生态学（deep ecology）这种属于环保主义之下的边缘性运动，是首次针对300年前笛卡尔思想所提出的重大挑战。深层生态学反对以人类为中心，认为所有生物形态、自然体系与自然现象均有其内在价值。

[32]有关法国森林，请见Amat 1993。有关亚马孙雨林，请见Wood and Schmink 1993与Pichón 1992。有关美国州际公路系统背后动机，请见Lewis 1997与Gifford 1998。有关中巴高速公路，请见Ispahani 1989：145–213。有印度草地，请见Ali 1988。

[33]Gerber 1992.

[34]Fioravanti and Makhijani 1997；USDOE 1995.

[35]Cochrane et al.1993；Nilsen and Bohmer 1994；Nilsen and Hauge 1992；Yablokov 1995。Holloway 1994广泛地研究了1956年以前的苏联核武计划，相当有用。

[36]请见Danielsson 1990（有关法国在波利尼西亚）；Makhijani et al.1995（全球性调查）。

[37]Smil 1994：185.

[38]越南（以及东南亚其他地区）森林遭砍伐后，复原时最先长出的植被以白茅属的草与竹子为主。生态演替（ecological succession）可能会在100年内重新复育热带森林。（Westing 1980：97–8）

[39]Clout 1996；Sobolev 1947；Westing 1990。有关加里波利的评论乃根据我1994年的观察。有关海湾战争，请见Burger 1997：69–73、Hawley 1992、Hobbs and Radke 1992。Aarsten 1946表示荷兰17%的农地在第二次世界大战期间因盐水入侵而遭到破坏，但我相信这只是短暂现象。ElShobosky and Al-Saedi 1993指出，沙漠坦克战（例如1941—1943年间的埃及，1991年的科威特）会破坏脆弱的沙漠盖层（desert crust），造成异常严重的沙尘暴。

[40]Demorlaine 1919；McNeill 1992b：260–70；Prochaska 1986；Westing 1990.

[41]Celi 1991（有关铜）；Opie 1993：96（有关北美大平原）；Kuusela 1994：125（有关英国森林）。有关东南亚战争与林木，请见《经济学人》（The Economist,17 June 1995：35）。战争期间如缺乏有效运输系统，难民寻找食物与薪柴时也可能造成当地生态系统负荷超载。20世纪80年代巴基斯坦北部300万阿富汗人就有如此现象（Azhar 1985；Allan 1987）。

[42]Westing 1980：154（有关北大西洋鱼群）。Turner et al.1990有些篇章讨论了足以显示第二次世界大战影响的生物地球化学流动。《环境》（Environment 35（4）：22）有关于科威特沙漠生态的报道。

[43]Adams 1992：104；Hogendorn and Scott 1981.

[44]有关民主化与环境，请见Jänicke and Weidner 1996；Lafferty and Meadowcroft 1996。

[45]在1689—1725年间统治俄国的彼得大帝可能是个例外。他采用了野生动物保护、禁止森林保育、过度捕捞鱼类、土壤保持与圣彼得堡水源污染的相关法律。这些法律后来多被叶卡捷琳娜大帝废止（统治期间为1762—1796年）。请见Massey 1992：16–17。

[46]Dorsey 1998.

[47]Gadgil and Guha 1995；Guha 1990；Guha and Martinez Alier 1997.

[48]里根本人便曾宣称大多数空气污染均由树木造成。他手下的内政部长詹姆斯·瓦特（James Watt）有次主张环保分子不算真正的美国人，此外还多次暗示应该枪毙环保分子，而且（在参议院审议其任命案的听证会中）表示环境保护根本没有意义，因为上帝很快就会发动天启（apocalypse）。里根任内另一名内政部长唐纳德·霍德尔（Donald Hodel）则认为，戴上帽子与太阳眼镜，要比试图防止大气圈变薄更为合理（Rothman 1998：187–9）。

[49]有关大约1970—1995年富国的环保政治，请见Bührs and Bartlett 1994、Broadbent 1998、Cramer 1989、Dalton 1994、de Jongh and Captain 1999、Dede 1993,Diani 1995、Hays 1997、Lee and So 1999、Rothman 1998、Stevis 1993、Villalba 1997以及Votruba 1993。

[50]举例来说，请见Tolba and El-Kholy 1992：737–98以及Young 1997。布伦特兰报告的正式名称出现在Bibliography under WCED 1987。该报告由挪威首相格罗·哈莱姆·布伦特兰（Gro Harlem Brundtland）所主导。

[51]OECD 1998.

[52]Humphrey and Sneath 1996,vol.1.

[53]Lee and Feng 1999.

[54]Shao 1986思考了这个计划的生态效应（1969—1975年）。此计划将80%的坦桑尼亚人，迁往依朱利叶斯·尼雷尔（Julius Nyerere）“非洲社会主义”概念所建设的村庄。

[55]有关环境政治，我曾参阅Dryzek 1997、Jänicke and Weidner 1996、Karan 1994、McCormick 1991、Mandrillon 1991、Panjari 1997、Price 1994以及Tolba and El-Kholy 1992。

尾声：未来该何去何从？

这就像医师治疗肺结核：初期总是容易治愈而难以诊断，但要是没被发现或接受正确治疗，病情就会变得容易诊断而难以治愈。国家大事也是同样道理，唯有才华出众者才能预见祸患，轻易解决可能因此产生的恶果，但若缺乏远见，问题就会扩大到所有人都无法想象的地步。

——马基雅维利（Machiavelli），《君主论》（*The Prince*，1513年）

1930年，美国物理学家、诺贝尔奖得主罗伯特·密立根（Robert Millikan，1868—1953年）曾表示，人类不可能对任何像地球这么大的东西造成真正的伤害。[1]就在同一年，美国化学工程师托马斯·米奇利发明了氯氟碳化合物，也就是造成大气圈臭氧层薄化的化学物质。密立根虽然确实是个“优秀”的人，但他并不了解可能造成的危害。马基雅维利针对国家大事的思考，更能印证在全球生态与社会的事务上。在事情发展到不可收十的地步之前，几乎不可能知道到底发生了什么事。

人类是否已迈向一场真正的生态危机，其实我们无法得知。确定的是我们现在的作为在生态上无法永续，只是我们不可能知道生态还能维持多久，或者即使真能维持下去还会发生什么事。无论如何，无法永续存在的社会，自人类有农业以来比比皆是，其中有些消失无踪，许多在改变做法之后也存留了下来。他们改变的不是永续的做法，而是某些新形态且种类不同的非永续做法。或许我们能像以前的人一样，永无止境地以另一种非永续机制取代原来的非永续机制，进行大大小小的调整但避免全面崩盘，就像中国“三千年的非永续发展”。[2]明显保守的古代中国比较像是老鼠而非鲨鱼，通过采用新的粮食作物与新科技、改变与邻国的贸易关系等做法，来适应新环境，并因此度过多次危机。然而，全球性的非永续社会可能完全是另一回事，数千年以来中国对这个世界所做的事，如今可能维持不久了。如果真是这样，生态预言家经常警告的全面瓦解就会在眼前出现。从现有的非永续机制转变为另一种模式，过程可能极度痛苦，而且正如既得利益者常主张的，他们会不计代价避免或至少拖延此一命运。

到底未来会发生什么事不仅无人知晓，而且本来就无法确定，即使是指最近的将来。毫无疑问，有些状况发生的概率较高，但没什么事是确定的。未来的变动性的确更甚以往：目前存在各种从根本上看来截然不同的可能，因为科技的影响力大增，观念散播如此迅速，而且连繁殖行为这种通常以极缓慢速度改变的变量，都在快速变迁中。除此之外，这所有变量的互动，可能都比以往更为紧密，因此整个地球社会与环境体系也比以往更加不确定且更为混乱。

这一切都显示，我们必须进行大幅调整，才能避免陷入困境。许多在过去帮助人类社会度过艰困时期的生态缓冲区——空旷的土地、无人使用的水源、未经污染的空间——现在都已消失。最艰难（更正确的说法是，不会发生的可能性最低）的是清洁淡水供应短缺、气候变迁的多重效应，以及生物多样性减少。

没有人敢说未来会发生何种形式的生态紧缩（ecological crunch）、什么时候会发生、会有多严重，但要预测哪些人受到的冲击最大就比较简单了。手中毫无权势的穷人，现在已经无法避免自己不受生态问题影响，未来还是一样。富有的权贵以往就拥有必要的资源，能让自己不受污染、土壤侵蚀或渔业崩盘的影响。只有在紧缩非常严重时，他们才可能面临极高的代价。当然，谁是富人谁是穷人这件事常有变动：以韩国人为例，1960年他们的平均财富甚至低于加纳人，但到了20世纪90年代已跻身富国之列。此一事实激发个人与团体拼命想脱离贫穷与衰微，而这样的努力往往加重了生态问题。1960年后韩国为自身的经济奇迹付出了极大的代价，城市区深受有害空气所苦，河里流着有毒的工业废水，还有许多其他令人不快的状况。但现在他们比加纳人更有能力承受严重的生态失调，因为现在他们更有钱了。

如果你接受未来将会发生更严重的生态问题这种观念，那么依照马基雅维利的说法，及早面对这种可能是比较谨慎的做法。在解读现代史之后，我认为最明智的做法是加紧导入更洁净的全新能源机制，并加速人口转型，让死亡率与生育率都能降低。前者代表我们必须集中科学与工程研究，也许需要市场干预，鼓励既有能源基础建设，并尽快推广新型设备。后者代表必须加强穷国女性的正规教育，这不仅因为穷国的人口转型并不完全，也因为女性教育是生育控制中最重要的决定因素。也许还有其他方法，例如教育福斯接受生态约束的信念，或引导统治者施政时不要只考虑下次的选举或政变。[3]还有某些做法则因为较为激进，显得更加困难且较不实际。

我预期未来会发生可怕的生态与社会问题，只是因为我看到了过去的历史。在本书中，我尝试以数字来呈现20世纪所历经的部分生态变迁。其中只有少部分能够转化为数字。这些数字都摘录在表11.1中，这是20世纪环境变迁与部分造成这些变迁因素的概略数据。这个表格忽略了只在1900年之后才扩张的现象，例如氯氟碳化合物的释放与拖拉机的数量。它忽略了若以1900年为基础，则增加率如同天文数字的扩张，例如全球汽车总数、化学肥料使用量，或是化学合成物产量的吨数。这个表格是个不完美的度量标准，但呈现的整体印象依然正确。

表11.1 从数字看20世纪

项目	19 世纪 90 年代—20 世纪 90 年代增长率
全球人口	4
城市占全球人口比	3
全球城市人口	13
全球经济	14
工业产出	40
使用能源量	13
煤炭产量	7
空气污染	≈ 5
二氧化碳排放	17
二氧化硫排放	13
排放至大气圈的铅量	≈ 8
使用水量	9
海洋渔获量	35
牛群数量	4
猪群数量	9
马匹数量	1.1
蓝鲸数量（限南冰洋）	0.0025（减少 99.75%）
长须鲸数量	0.03（减少 97%）
鸟类与哺乳类物种	0.99（减少 1%）
灌溉面积	5
森林面积	0.8（减少 20%）
耕地	2

注：有些数字的可信度较高。正文中评论了各项数字的可信度。

根据《圣经·旧约》，上帝创造万物第五天时吩咐人类要充满并管理、统治万物。在历史上大部分的时间人类未能遵守这些命令，原因并非他们没有试过，而是能力不足。但20世纪人类利用化石燃料、达到前所未见的人口增长及各种科技变革，实现这些指令几乎变得可能。在主流政治与经济体系下，不去尝试成了一种不智的行为：多数社会及所有大型社会，都冒着牺牲生态缓冲区与未来复原能力的风险，来追求国力与财富的极大化。20世纪最常见的政策是尽可能利用资源，让大自然发挥到淋漓尽致，然后尽量往好处想。

人类拥有新的力量后，过去一些在医疗与人口、粮食生产、能源使用及一般消费的限制因此消失。对这些限制有所了解的人，极少会对其消失感到遗憾。但随着这些限制的消失，我们受到了其他限制，也就是地球处理废弃物、副产品及人类行为所带来冲击的能力。后者在过去偶尔即已带来痛苦，但仅限于局部影响。到了20世纪末，它们似乎在全世界都限制了我们的选择。人类与这些限制的交手，将塑造未来的世界，正如我们以往的努力塑造了过去的世界。

负责制定政策的人，都会以我们所认知的世界作为参考标准。这使得他们会因为自身观察与经验，而认定某些事物是“正常的”，也就是我在本书序中所说的知觉障碍机制。其实以生态用语而言，目前整个世界的状况极度背离人类历史上所谓持久、较为“正常”的状态。如果我们能活上700或7000年，只要根据经验或记忆就可以了解这点。但对我们这样只能活70年左右的生物，要了解所有可能性以及什么叫作永续，就必须去研究过去、未来与现在的事物。

20世纪生态变迁规模之大，强烈显示至少对现代而言，历史与生态必须互相重视。若只探讨人类事务为背景的现代历史，会认为现代历史的维生系统相当稳固，这种做法不但不完整且会造成严重误导。生态学若忽略了社会力量与历史变动的复杂性，也同样会自我局限。就知识领域来说，历史与生态两者都具有超高的综合特质，必须相互融合。

如果历史与生态真能相互融合，或者说当它们相互融合时，我们将对过去有更好、更完整、更吸引人、更全面，甚至可以说更复杂的概念。我们将更了解现状，以及现状是否已处于危险处境。如此一来，我们也将更了解未来可能发生什么事，然后才有能力就这些可能进行辩论

与抉择，至少避免最坏的情况发生。届时我们可能会自觉地选择改变世界，而且只有从自身做起，不厌其烦地改弦易辙，才能避免严重伤害。我们可以创造命运，而不仅止于相信命运。就是这一点，让我们有别于老鼠与鲨鱼，还有20亿年前的蓝菌。

[1]Hobsbawm 1994：534.

[2]Elvin 1993.

[3]McGovern 1994提供了一个富有教育意义的故事。15世纪挪威属地格陵兰人迹灭绝。10～12两个世纪间北半球气候异常温暖，当时挪威人在格陵兰沿岸的内飞地（enclave）屯垦。小冰河期（Little Ice Age）开始之后，他们无法适应越来越冷的气候。这时仿效因纽特人（Inuit）以海豹为主食是较为谨慎的做法，但他们仍依赖以牛只与鱼类为基础的经济模式。故事作者表示挪威人之所以未能改变生活方式，是因为格陵兰由一群拥有土地的精英阶级所管理，他们控制了生产与贸易，并认为自己的地位（特别是在取得斯堪的纳维亚贸易商品的特权方面）只能仰赖土地与牛只的经济模式。这些拥有土地的精英阶级紧握权力不放，妨碍了任何针对生态环境变迁所做的有效调整。正如我在本书序中所言，格陵兰的地主就像鲨鱼一样。

参考书目

Aamlid, Dan. 1990. *Forest Decline in Norway* (As: Norwegian Agricultural Advisory Centre).

Aarsten, J. P. von. 1946. "Consequences of the War on Agriculture in the Netherlands," *International Review of Agriculture* 37:55–345, 495–705, and 1085–1235.

Aarts, Wilma, Johan Goudsblom, Kees Schmidt, and Fred Spier. 1995. *Toward a Morality of Moderation* (Amsterdam: Amsterdam School for Social Science Research).

Abdoellah, Oekan S. 1996. "Social and Environmental Impacts of Transmigration: A Case-Study in Barambai, South Kalimantan." In: Christine Padoch and Nancy Lee Peloso, eds., *Borneo in Transition* (Kuala Lumpur: Oxford University Press), 266–79.

Abreu, Mauricio de Almeida. 1988. *Evolução urbana do Rio de Janeiro* (Rio de Janeiro: Instituto de Planejamento Municipal).

Adabashev, I. I. 1966. *Global Engineering* (Moscow: Progress Publishers).

Adam, Paul. 1987. "Les nouvelles pêches maritimes mondiales," *Etudes internationales* 18:7–20.

Adams, Robert M. 1995. *Paths of Fire: An Anthropologist's Inquiry into Western Technology* (Princeton: Princeton University Press).

Adams, W. M. 1992. *Wasting the Rain: Rivers, People and Planning in Africa* (London: Earthscan).

Adler, Robert, Jessica Landman, and Diane Cameron. 1993. *The Clean Water Act 20 Years Later* (Washington, D.C.: Island Press).

Agnihotri, Indu. 1996. "Ecology, Land Use and Colonisation: The Canal Colonies of Punjab," *Indian Economic and Social History Review* 33:37–58.

Ahmed, Sara. 1990. "Cleaning the River Ganga: Rhetoric and Reality," *Ambio* 19:42–5.

Akio, Mishima. 1992. *Bitter Sea: The Human Cost of Minamata Disease* (Tokyo: Kosei).

Alauddin, Mohammad, and Clement Tisdell. 1991. *The Green Revolution and Economic Development: The Process and Its Impact in Bangladesh* (New York: St. Martin's Press).

Albaigues, Joan, M. Aubert, and J. Aubert. 1985. "Footprints of Life and Man." In: Ramón Margalef, ed., *Western Mediterranean* (Oxford: Pergamon Press), 317–52.

Alderton, D. H. M. 1985. "Sediments." In: *Historical Monitoring: A Technical Report* (London: Monitoring and Assessment Research Centre).

Alexander, David. 1993. *Natural Disasters* (New York: Chapman & Hall).

Ali, Imran. 1988. *The Punjab Under Imperialism, 1885–1947* (Princeton: Princeton University Press).

Allan, J. A. 1994. "Overall Perspectives on Countries and Regions." In: Peter Rogers and Peter Lydon, eds. *Water in the Arab World: Perspectives and Prognoses* (Cambridge: Harvard University Press), 65–100.

Allan, N. J. R. 1987. "Impact of Afghan Refugees on the Vegetation Resources of Pakistan's Hindu Kush–Himalaya," *Mountain Research and Development* 7:200–4.

Amanor, Kojo S. 1994. *The New Frontier: Farmer Responses to Land Degradation* (Geneva: U.N. Research Institute for Social Development).

Amat, Jean-Paul. 1993. "Le rôle stratégique de la forêt, 1871–1914: Exemples dans les forêts lorraines," *Revue historique des armées* 1:62–9.

Anagnostakis, S. L., and B. Hillman. 1992. "Evolution of the Chestnut Tree and Its Blight," *Arnoldia* 52:3–10.

Anderson, C. H. 1975. *A History of Soil Erosion by Wind in the Palliser Triangle of Western Canada* (Ottawa: Canada Department of Agriculture, Research Branch).

Anderson, David. 1984. "Depression, Dust Bowl, Demography and Drought: The Colonial State and Soil Conservation in East Africa During the 1930s," *African Affairs* 83:321–43.

Anderson, M. R. 1995. "The Conquest of Smoke: Legislation and Pollution in Colonial Calcutta." In: D. Arnold and R. Guha, eds., *Nature, Culture, Imperialism* (Delhi: Oxford University Press), 293–335.

Anderson, Robert S. 1991. "The Origins of the International Rice Research Institute," *Minerva* 29:61–89.

Andreev-Khomiakov, Gennady. 1997. *Bitter Waters*, Ann E. Healy, trans. (Boulder: Westview Press).

Antoine, Serge. 1993. "18 Pays riverains dans un même bateau," *Peuples méditerranéens* 62–63:255–78.

Argabright, M. Scott, et al. 1996. *Historical Changes in Soil Erosion, 1930–1992: The Northern Mississippi Valley Loess Hills* (Washington: USDA Natural Resources Conservation Service, Historical Notes no. 5).

Arnold, R. W., I. Szabolcs, and V. O. Targulian. 1990. *Global Soil Change* (Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis).

Asami, T. 1983. "Pollution of Soils by Cadmium." In: J. O. Nriagu, ed., *Changing Metal Cycles and Human Health* (Berlin: Springer-Verlag), 95–111.

———. 1988. "Soil Pollution by Metals from Mining and Smelting Activities." In: W. Salomons and U. Föstner, eds., *Chemistry and Biology of Solid Waste: Dredged Material and Mine Tailings* (Berlin: Springer-Verlag), 143–69.

Ashton, Peter J., and David S. Mitchell. 1989. "Aquatic Plants: Patterns and Modes of Invasion, Attributes of Invading Species and Assessment of Control Programmes." In: J. A. Drake et al., eds., *Biological Invasions: A Global Perspective* (Chichester: Wiley), 111–54.

Ashton, P. J., C. C. Appleton, and P. B. N. Jackson. 1985. "Ecological Impacts and Economic Consequences of Alien Invasive Organisms in Southern African Aquatic Ecosystems." In:

I. A. W. McDonald, F. J. Kruger, and A. A. Ferrar, eds., *The Ecology and Management of Biological Invasions in Southern Africa* (Cape Town: Oxford University Press), 247–57.

Asquith, Pamela, and Arne Kalland. 1997. *Japanese Images of Nature* (Richmond: Curzon Press).

Augelli, John. 1989. "Modernization of Costa Rica's Beef Cattle Economy: 1950–85," *Journal of Cultural Geography* 9:77–90.

Ausubel, Jesse. 1989. "Regularities in Technological Development: An Environmental View." In: Jesse Ausubel and Hedy Sladovich, eds., *Technology and Environment* (Washington: National Academy Press), 70–91.

———. 1996. "The Liberation of the Environment," *Daedalus* 125(3):1–17.

Ausubel, Jesse, and R. Herman, eds. 1988. *Cities and Their Vital Systems Infrastructure: Past, Present, and Future* (Washington: National Academy Press).

Ausubel, Jesse, and Hedy Sladovich, eds. 1989. *Technology and Environment* (Washington: National Academy Press).

Ayeb, Habib. 1996. "Le haut barrage 30 ans après," *Peuples méditerranéens* 74–75:131–46.

Ayers, G. P., and K. K. Yeung. 1996. "Acid Deposition in Hong Kong," *Atmospheric Environment* 30:1581–88.

Ayres, R. U. 1989. "Industrial Metabolism." In: Jesse Ausubel and Hedy Sladovich, eds., *Technology and Environment* (Washington: National Academy Press), 23–49.

Azhar, Said. 1985. "Three Million Uprooted Afghans in Pakistan," *Pakistan Horizon* 38:60–84.

Bahre, Conrad. 1979. *Destruction of the Vegetation of North-Central Chile* (Berkeley: University of California Press).

Baines, Dudley. 1995. *Emigration from Europe, 1815–1930* (Cambridge: Cambridge University Press).

Bairoch, Paul. 1989. "Les trois révolutions agricoles du monde développé: rendements et productivité de 1800 à 1985," *Annales: Economies, sociétés, civilisations* 44(2):317–53.

Barica, J. 1979. "Massive Fish Mortalities Caused by Algal Blooms in Eutrophic Ecosystems," *Symposia Biologica Hungarica,* 19:121–4.

Barker, David, and Duncan MacGregor. 1988. "Land Degradation in the Yallahs Basin, Jamaica: Historical Notes and Contemporary Observations," *Geography* 73:116–24.

Barker, Graeme. 1995. *A Mediterranean Valley: Landscape Archaeology and Annales History in the Biferno Valley* (London and New York: Leicester University Press).

Barrett, Thomas. 1997. "The Terek Cossacks and the North Caucasus Frontier, 1700–1860" (Ph.D. thesis, Georgetown University).

Barrie, L. A. 1986. "Arctic Air Pollution: An Overview of Current Knowledge," *Atmospheric Environment* 20:643–63.

Barrie, L. A., P. Fisher, and R. M. Koerner. 1985. "Twentieth-Century Trends in Arctic Air Pollution Revealed by the Conductivity and Acidity Observations in Snow and Ice in the Canadian High Arctic," *Atmospheric Environment* 19:2055–63.

Bart, François. 1993. *Montagnes d'Afrique, terres paysannes: Le cas du Rwanda* (Bordeaux: Presses Universitaires de Bordeaux).

Bartz, Fritz. 1964. *Die grossen Fischereiräume der Welt* (Weisbaden: Franz Steiner Verlag).

Basu, A. K. 1992. *Ecological and Resource Study of the Ganga Delta* (Calcutta: Bagchi).

Baviskar, Amita. 1995. *In the Belly of the River: Tribal Conflicts over Development in the Narmada Valley* (Delhi: Oxford University Press).

Bayalama, Sylvain. 1992. "The Environment and Structural Adjustment Programs in Africa," *TransAfrica Forum* 9(3):89–99.

Beach, Timothy. 1994. "The Fate of Eroded Soil: Sediment Sinks and Sediment Budgets of Agrarian Landscapes in Southern Minnesota, 1851–1988," *Association of American Geographers, Annals* 84:5–28.

Behre, K.-E., J. Dorjes, and G. Irion. 1985. "A Dated Holocene Sediment Core from the Bottom of the Southern North Sea," *Eiszeitsalter und Gegenwart* 35:9013.

Beinart, William. 1984. "Soil Erosion, Conservation and Ideas about Development: A Southern African Exploration, 1900–1960," *Journal of Southern African Studies* 11:52–83.

Ben Tuvia, Adam. 1983. "The Mediterranean Sea: Biological Aspects." In: Bostwick Ketchum, ed., *Estuaries and Enclosed Seas* (Amsterdam: Elsevier), 239–51.

Berkes, Fikret. 1992. "Success and Failure in Marine Coastal Fisheries of Turkey." In: Daniel W. Bromley, ed., *Making the Commons Work* (San Francisco: Institute for Contemporary Studies), 161–82.

Berkhout, Frans. 1994. "Nuclear Power: An Industrial Ecology That Failed?" In: R. Socolow, C. Andrews, F. Berkhout, and V. Thomas, eds., *Industrial Ecology and Global Change* (Cambridge: Cambridge University Press), 319–27.

Berry, Brian. 1990. "Urbanization." In: B. L. Turner et al., eds., *The Earth as Transformed by Human Action* (New York: Cambridge University Press), 103–19.

Berz, Gerhard. 1990. "Global Warming and the Insurance Industry," *Nature and Resources (English Edition)* 27(1):19–30.

Bethoux, J. P., P. Gentili, J. Raunet, and D. Taillez. 1990. "Warming Trend in the Western Mediterranean Deep Water," *Nature* 347:660–2.

Beveridge, W. I. B. 1993. "Unravelling the Ecology of the Influenza A Virus," *History and Philosophy of the Life Sciences* 15:23–32.

Bevilacqua, Piero. 1989. "Le rivoluzioni dell'acqua: Irrigazione e trasformazioni dell'agricoltura tra Sette e Novecento." In: P. Bevilacqua, ed., *Storia dell'agricoltura italiana in età contemporanea* (Venice: Marsilio), 255–318.

Bezuneh, Mesfin, and Carl C. Mabbs-Zeno. 1984. "The Contribution of the Green Revolution to Social Change in Ethiopia," *Northeast African Studies* 6(3):9–17.

Bianchi, Bruna. 1989. "La nuova pianura: Il paesaggio delle terre bonificate in area padana." In: P. Bevilacqua, ed., *Storia dell'agricoltura italiana in età contemporanea* (Venice: Marsilio), 451–94.

Biraben, J. N. 1979. "Essai sur l'évolution du nombre des hommes," *Population* 34:13–24.

Biswas, Margaret R. 1994. "Agriculture and Environment: A Review, 1972–1992," *Ambio* 23:192–7.

Blaikie, Piers. 1985. *Political Economy of Soil Erosion in Developing Countries* (London: Longman).

Blaxter, Kenneth, and Noel Robertson. 1995. *From Dearth to Plenty: The Modern Revolution in Food Production* (Cambridge: Cambridge University Press).

Bloom, B. R., and C. J. L. Murray. 1992. "Tuberculosis: Commentary on a Reemergent Killer," *Science* 257:1055–64.

Bobak, Martin, and Richard G. A. Feachem. 1995. "Air Pollution and Mortality in Central and Eastern Europe," *European Journal of Public Health* 5:82–6.

Bohm, Georgy, et al. 1989. "Biological Effects of Air Pollution in Sao Paulo and Cubatao," *Environmental Research* 49(2):208–16.

Bonnin, J. R. 1987. "Aménagements hydrauliques avant notre ère." In: Walter O. Wunderlich and J. Egbert Prins, eds., *Water for the Future* (Rotterdam: Balkema), 101–12.

Bonomi, G., A. Calderoni, and R. Mosello. 1979. "Some Remarks on the Recent Evolution of the Deep Italian Subalpine Lakes," *Symposia Biologica Hungarica* 19:87–112.

Boulding, Kenneth E. 1964. *The Meaning of the Twentieth Century* (New York: Harper Colophon).

Bourgeois, Jean, Anton Ervynck, Paul Rondelez, and Michel Gilté. 1996. "De vuilnisblet vertelt Archeologisch onderzoek van modern Gents huishoudelijk afval," *Tijdschridt voor ecologische geschiedenis* 1:46–51.

Bourgeois-Pichat, J. 1988. "Du XXe au XXIe siècle: Europe et sa population après l'an 2000," *Population* 43:9–42.

Boyden, Stephen, Sheelagh Miller, Ken Newcombe, and Beverly O'Neill. 1981. *The Ecology of a City and Its People: The Case of Hong Kong* (Canberra: Australian National University Press).

Bramwell, Anna. 1989. *Ecology in the 20th Century: A History* (New Haven: Yale University Press).

Breburda, Josef. 1990. "Land-Use Zones and Soil Degradation in the Soviet Union." In: Karl-Eugen Wädekin, ed., *Communist Agriculture: Farming in the Soviet Union and Eastern Europe* (London: Routledge), 23–39.

Bresnan, John. 1993. *Managing Indonesia: The Modern Political Economy* (New York: Columbia University Press).

Bridges, Olga, and Jim Bridges. 1996. *Losing Hope: The Environment and Health in Russia* (Aldershot, U.K.: Avebury).

Brimblecombe, Peter. 1995. "History of Air Pollution." In: H. B. Singh, ed., *Composition, Chemistry and Climate of the Atmosphere* (New York: Van Nostrand Reinhold), 1–18.

———. 1987. *The Big Smoke: A History of Air Pollution in London Since Medieval Times* (London: Methuen).

Brimblecombe, Peter, and C. Bowler. 1992. "History of Air Pollution in York, England," *Journal of the Air and Waste Management Association* 42:1562–6.

Brimblecombe, Peter, Trevor Davies, and Martyn Tranter. 1986. "Nineteenth Century Black Scottish Showers," *Atmospheric Environment* 20:1053–57.

Brinkhoff, Thomas. 1999. "Principal Agglomerations and Cities of the World." Web site address: *http://www.citiesin.thecountry.com.*

Brinkmann, Uwe. 1994. "Economic Development and Tropical Disease." In: Mary E. Wilson, Richard Levins, and Andrew Spielman, eds., *Disease in Evolution* (New York: Annals of the New York Academy of Sciences), 740:303–11.

Broadbent, Jeffrey. 1998. *Environmental Politics in Japan: Networks of Power and Protest* (Cambridge: Cambridge University Press).

Brookfield, Harold, Francis Jana Lian, Low Kwai-Sim, and Lesley Potter. 1990. "Borneo and the Malay Peninsula." In: B. L. Turner et al. eds., *The Earth as Transformed by Human Action* (New York: Cambridge University Press), 495–512.

Brouwer, Roland. 1995. "Planting Power: The Afforestation of the Commons and State Formation in Portugal" (Ph.D. thesis, University of Wageningen, Netherlands).

Brown, H. S., R. E. Kasperson, and S. S. Raymond. 1990. "Trace Pollutants." In: B. L. Turner et al. eds., *The Earth as Transformed by Human Action* (New York: Cambridge University Press), 437–54.

Brown, Lester R., et al. 1996. *The State of the World 1996* (New York: Norton).

Brüggemeir, Franz-Josef. 1990. "The Ruhr Basin 1850–1980: A Case of Large-Scale Environmental Pollution." In: Peter Brimblecombe and Christian Pfister, eds., *The Silent Countdown: Essays in European Environmental History* (Berlin: Springer-Verlag), 210–27.

———. 1994. "A Nature Fit for Industry: The Environmental History of the Ruhr Basin, 1840–1990," *Environmental History Review* 18(1):35–54.

Brüggemeir, Franz-Josef, and Thomas Rommelspacher. 1992. *Blauer Himmel über der Ruhr: Geschichte der Umwelt in Ruhrgebiet, 1840–1990* (Essen: Klartext).

Bruun, Ole, and Arne Kalland, eds. 1995. *Asian Perceptions of Nature: A Critical Approach* (Richmond: Curzon Press).

Bryder, Linda. 1988. *Below the Magic Mountain: A Social History of Tuberculosis in Twentieth-Century Britain* (Oxford: Clarendon Press).

Bührs, Tom, and Robert V. Bartlett. 1994. *Environmental Policy in New Zealand* (Oxford: Oxford University Press).

Buller, Henry J. 1992. "Agricultural Change and the Environment in Western Europe." In: Keith Hoggart, ed., *Agricultural Change, Environment and Economy* (London: Mansell), 68–88.

Burger, Joanna. 1997. *Oil Spills* (New Brunswick: Rutgers University Press).

Burmeister, Larry. 1990. "State, Industrialization and Agricultural Policy in Korea," *Development and Change* 21:197–220.

Burney, David. 1996. "Historical Perspectives on Human-Assisted Biological Invasions," *Evolutionary Anthropology* 4(6):216–21.

Burns, G., et al. 1990. "Salinity Threat to Upper Egypt," *Nature* 344:25.

Burrows, Geoff, and Ralph Shlomowitz. 1992. "The Lag in the Mechanization of the Sugarcane Harvest: Some Comparative Perspectives," *Agricultural History* 66(3):61–75.

Busch, Briton C. 1985. *The War against the Seals: A History of the North American Seal Fishery* (Kingston and Montreal: McGill–Queen's University Press).

Busch, Lawrence, et al. 1995. *Making Nature, Shaping Culture: Plant Biodiversity in Global Context* (Lincoln: University of Nebraska Press).

Büschenfeld, Jürgen. 1997. *Flüsse und Kloaken: Umweltfragen im Zeitalter der Industrialisierung (1870–1914)* (Stuttgart: Klett-Cotta).

Butzer, Karl. 1975. "Accelerated Soil Erosion: A Problem in Man-Land Relationships." In: Ian R. Manners and Marvin Mikesell, eds., *Perspectives on Environment* (Washington: Association of American Geographers), 57–78.

Buxton, Ian. 1993. "The Development of the Merchant Ship, 1880–1990," *Mariner's Mirror* 79:71–82.

Caddy, J. F. 1993. "Toward a Comparative Evaluation of Human Impacts on Fishery Ecosystems of Enclosed and Semi-Enclosed Seas," *Reviews in Fisheries Science* 1:57–95.

Caddy, J. F. and J. A. Gulland. 1983. "Historical Patterns of Fish Stocks." *Marine Policy* 7:267–78.

Campbell, John. 1991. "Land or Peasants? The Dilemma Confronting Ethiopian Resource Conservation," *African Affairs* 90:5–21.

Carlton, J. T. 1985. "Transoceanic and Interoceanic Dispersal of Coastal Marine Organisms: The Biology of Ballast Water," *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 23:313–71.

———. 1989. "Man's Role in Changing the Face of the Ocean: Biological Invasions and Implications for Conservation of Near-Shore Environments," *Conservation Biology* 3:265–73.

———. 1993. "Neoextinctions of Marine Invertebrates," *American Zoologist* 33:499–509.

———. 1996. "Marine Bioinvasions: The Alteration of Marine Ecosystems by Nonindigenous Species," *Oceanography* 9:36–43.

Carlton, J. T., and J. B. Geller. 1993. "Ecological Roulette: The Global Transport of Nonindigenous Marine Organisms," *Science* 261:78–82.

Carré, François. 1982. "Les pêches maritimes dans l'Atlantique du nord-est," *Annales de géographie* 91:173–204.

Cartalis, C., and C. Varotsos. 1994. "Surface Ozone in Athens, Greece, at the Beginning and End of the Twentieth Century," *Atmospheric Environment* 28:3–8.

Carter, F. W. 1993a. "Czechoslovakia." In: F. W. Carter and D. Turnock, eds., *Environmental Problems in Eastern Europe* (London: Routledge), 63–88.

———. 1993b. "Poland." In: F. W. Carter and D. Turnock, eds., *Environmental Problems in Eastern Europe* (London: Routledge), 107–34.

Carter, F. W., and D. Turnock, eds. 1993. *Environmental Problems in Eastern Europe* (London: Routledge).

Caviedes, César N., and Timothy J. Fik. 1992. "The Peru-Chilean Eastern Pacific Fisheries and Climatic Oscillation." In: M. H. Glantz, ed., *Climate Variability, Climate Change, and Fisheries* (Cambridge: Cambridge University Press), 355–76.

Cecchini, Marcella. 1987. "Due missioni tecniche italiane in URSS, 1930–36," *Storia contemporanea* 18:731–65.

Çeçen, Kâzım. 1992. *Sinan's Water Supply System in Istanbul* (Istanbul: T. C. Istanbul Büyük Şehir Belediyesi, Istanbul Su ve Kanalızasyon Idaresi Genel Müdürlüğü).

Celi, M. 1991. "Biospeleologia," *Barbastrijo* 3:1–18.

Centre for Science and Environment. 1982. *The State of India's Environment 1982: A Citizens' Report* (New Delhi: CSE).

Changnon, Stanley, ed. 1994. "The Lake Michigan Diversion at Chicago and Urban Drought" (Final Report to Great Lakes Environmental Research Laboratory, Ann Arbor, Mich.; National Oceanic and Atmospheric Administration, contract no. 50WCNR306047).

Changnon, Stanley, and Joyce Changnon. 1996. "History of the Chicago Diversion and Future Implications," *Journal of Great Lakes Research* 22:100–18.

Chaussade, Jean, and Jean-Pierre Corlay. 1990. *Atlas des pêches et des cultures marines: France, Europe, monde* (Rennes: Editions Ouest France).

Chen, Lincoln C. 1994. "New Diseases—The Human Factor: Commentary." In: Mary E. Wilson, Richard Levins, and Andrew Spielman, eds., *Disease in Evolution* (New York: Annals of the New York Academy of Sciences, vol. 740), 319–324.

Chesnais, Jean-Claude. 1995. *Le crépuscule de l'Occident* (Paris: Laffont).

Cho, Yong Hyu, and Byung Dae Choi. 1995. "The Threat of Polluted Air and the Policies to Control the Problem in the Seoul Metropolitan Area," *International Journal of Public Administration* 18:1725–39.

Chomsky, Aviva. 1996. *West Indian Workers and the United Fruit Company in Costa Rica, 1870–1940* (Baton Rouge: Louisiana State University Press).

Cioc, Mark. 1998. "The Impact of the Coal Age on the German Environment," *Environment and History* 4:105–24.

Cipolla, Carlo. 1978. *The Economic History of World Population* (Harmondsworth: Penguin Books).

Clapp, B. W. 1994. *An Environmental History of Britain* (London: Longman).

Clapp, J. 1994. "The Toxic Waste Trade with Less Industrialised Countries: Economic Linkages and Political Alliances," *Third World Quarterly* 15:505–18.

Clark, David. 1998. "Interdependent Urbanization in an Urban World: An Historical Overview," *Geographical Journal* (U.K.) 164:85–95.

Clark, Martin. 1984. *Modern Italy, 1871–1982* (New York: Longman).

Clarke, John I. 1996. "The Impact of Population on Environment: An Overview." In: Bernardo

Colombo, Paul Demeny, and Max Perutz, eds., *Resources and Population: Natural, Institutional, and Demographic Dimensions of Development* (Oxford: Clarendon Press), 254–68.

Cliff, Andrew, Peter Haggett, and Matthew Smallman-Raynor. 1998. *Deciphering Global Epidemics: Analytical Approaches to the Disease Records of World Cities, 1888–1912* (Cambridge: Cambridge University Press).

Clout, Hugh. 1996. *After the Ruins: Restoring the Countryside of Northern France after the Great War* (Exeter: Exeter University Press).

Cochrane, Thomas B., R. S. Norris, and K. L. Suokko. 1993. "Radioactive Contamination at Chelyabinsk-65, Russia," *Annual Review of Energy and the Environment* 18:507–28.

Cochrane, Willard. 1993. *The Development of American Agriculture: An Historical Perspective* (Minneapolis: University of Minnesota Press).

Cohen, Joel. 1995. *How Many People Can the Earth Support?* (New York: Norton).

Cohen, Mitchell L. 1992. "Epidemiology of Drug Resistance: Implications for a Post-Antimicrobial Era," *Science* 257:1050–55.

Collins, David N. 1991. "Kabinet, Forest, and Revolution in the Siberian Altai to May 1918," *Revolutionary Russia* 4:1–27.

Collins, Robert O. 1990. *The Waters of the Nile* (Oxford: Clarendon Press).

Colten, Craig. 1986. "Industrial Wastes in Southeast Chicago: Production and Disposal, 1870–1970," *Environmental Review* 10:93–105.

———. 1994. "Creating a Toxic Landscape: Chemical Waste Disposal Policy and Practice, 1900–1960," *Environmental History Review* 18:85–116.

Conacher, Brian. 1990. "Salt of the Earth: Secondary Soil Salinization in the Australian Wheat Belt," *Environment* 32(6):4–9, 40–42.

Conniff, Richard. 1990. "You Never Know What the Fire Ant Is Going to Do Next," *Smithsonian* 21(4):48–57.

Conzen, Kathleen Neils. 1990. "Immigrants in Nineteenth-Century Agricultural History." In: Lou Fergeler, ed., *Agriculture and National Development: Views on the Nineteenth Century* (Ames: Iowa State University Press), 303–42.

Cooper, R. C. 1992. "Transboundary Pollution: Sulfur Dioxide Emissions in the Republics of the USSR," *Comparative Economic Studies* 34(2):38–49.

Cooter, Roger. 1993. "War and Modern Medicine." In: W. F. Bynum and Roy Porter, eds., *Companion Encyclopedia of the History of Medicine* (London: Routledge), 1536–73.

Cordell, D. V., J. M. Gregory, and V. Piché. 1996. *Hoe and Wage* (Boulder: Westview Press).

Corner, Paul. 1975. *Fascism in Ferrara, 1915–1925* (Oxford: Oxford University Press).

Corona, Gabriella, and Gino Massullo. 1989. "La terre e le techniche." In: Piero Bevilacqua, ed., *Storia dell'agricoltura italiana in età contemporanea* (Venice: Marsilio), 353–449.

Corvol, A. 1987. "Le discours pré-écologiste." *Revue d'Auvergne* 101:147–57.

Costanza, Robert. 1997. *Frontiers in Ecological Economics* (Cheltenham: Edward Elgar).

Coward, Don Huon. 1988. *Out of Sight: Sydney's Environmental History, 1851–1981* (Canberra: Australian National University Press).

Cox, R. M. 1982. "Smelter Emissions as an Environmental Hazard in Sudbury, Ontario." In: I. Burton, C. D. Fowle and R. S. McCullough, eds., *Living with Risks: Environmental Risk Management in Canada* (Ottawa: Environment Canada Environmental Monograph No. 3), 161–72.

Cox, Thomas R. 1988. "The North American-Japanese Timber Trade." In: John F. Richards and Richard P. Tucker, eds., *World Deforestation in the Twentieth Century* (Durham: Duke University Press), 164–88.

Cramer, Jacqueline. 1989. *De groene golf: Geschiedenis en toekomst van de Nederlandse milieubeweging* (Utrecht: Van Arkel).

Craswell, E. T. 1993. "The Management of World Resources for Sustainable Agricultural Development. In: David Pimentel, ed., *World Soil Erosion and Conservation* (Cambridge: Cambridge University Press), 257–76.

Cronon, William. 1991. *Nature's Metropolis: Chicago and the Great West* (New York: Norton).

Cruse, R. M., and S. C. Gupta. 1991. "Soil Compaction Mechanisms and Their Control." In: R. Lal and F. J. Pierce, eds., *Soil Management for Sustainability* (Ankeny, Iowa: Soil and Water Conservation Society), 19–24.

Curtin, Philip D. 1989. *Death by Migration* (New York: Cambridge University Press).

———. 1993. "Disease Exchange across the Tropical Atlantic," *History and Philosophy of the Life Sciences*, 15:329–56.

Dahlsten, D. L. 1989. "Control of Invaders." In: H. A. Mooney and J. A. Drake, eds., *Ecology of Biological Invasions of North America and Hawaii* (New York: Springer-Verlag), 275–302.

Dalrymple, Dana G. 1974. *Development and Spread of High-Yielding Varieties of Wheat and Rice in the Less Developed Nations* (Washington: USDA).

Dalton, Russell J. 1994. *The Green Rainbow* (New Haven: Yale University Press).

Daniel, Pete. 1977. *Deep'n as It Come: The 1927 Mississippi River Flood* (New York: Oxford University Press).

Daniels, R. B. 1987a. "Saline Seeps in the Northern Great Plains of the USA and Southern Prairies of Canada." In: M. G. Wolman and F. G. A. Fourier, eds., *Land Transformation in Agriculture* (Chichester: Wiley), 381–496.

———. 1987b. "Soil Erosion and Degradation in the Southern Piedmont of the USA." In: M. G. Wolman and F. G. A. Fourier, eds., *Land Transformation in Agriculture* (Chichester: Wiley), 407–28.

Danielsson, Bengt. 1990. "Poisoned Pacific: The Legacy of French Nuclear Testing," *Bulletin of the Atomic Scientists* 46(2):22–31.

Darmstadter, Joel, and Robert W. Fri. 1992. "Interconnections between Energy and Environment: Global Challenges," *Annual Review of Energy and the Environment* 17:45–76.

Dauvergne, Peter. 1997. *Shadows in the Forest: Japan and the Politics of Timber in Southeast Asia* (Cambridge: MIT Press).

David, Christina, and Keijiro Otsuka, ed., 1994. *Modern Rice Technology and Income Distribution in Asia* (Boulder: Lynne Rienner).

Davidson, Cliff I. 1979. "Air Pollution in Pittsburgh: A Historical Perspective," *Journal of the Air Pollution Control Association* 29:1035–41.

Dean, Warren. 1987. *Brazil and the Struggle for Rubber: A Study in Environmental History* (New York: Cambridge University Press).

———. 1995. *With Broadax and Firebrand: The Destruction of the Brazilian Atlantic Forest* (Berkeley: University of California Press).

Debeir, Jean-Claude, Jean-Paul Deléage and Daniel Hémery. 1986. *Servitudes de la puissance* (Paris: Flammarion).

De Bevoise, Ken. 1995. *Agents of Apocalypse: Epidemic Disease in the Colonial Philippines* (Princeton: Princeton University Press).

Dede, Ionna. 1993. *Okologiebewegung in Griechenland und in der Bundesrepublik Deutschland* (Frankfurt: Peter Lang).

de Gruijl, Frank R. 1995. "Impacts of a Projected Depletion of the Ozone Layer," *Consequences* (U.S.) 1(2):12–21.

de Jong, J. 1987. "Water and Land Management in the Netherlands: History, Present Day's Situation and Future." In: W. O. Wunderlich and J. E. Prins, eds., *Water for the Future* (Rotterdam: Balkema), 79–89.

de Jongh, Peter, and Sean Captain. 1999. *Our Common Journey: A Pioneering Approach to Cooperative Environmental Management* (London: Zed Books).

Deléage, J. P. 1992. *Histoire de l'écologie: une science de l'homme et de la nature* (Paris: La Découverte).

Demorlaine, J. 1919. "Importance stratégique des forêts dans la guerre," *Revue des eaux et forêts* 57:25–30.

Dennis, Jerry. 1996. *The Bird in the Waterfall* (New York: HarperCollins).

Derenne, Benoît. 1988. "De la chicotte aux billons: Aperçu des méthodes de lutte contre l'érosion au Rwanda et Burundi du XIXe siècle à nos jours," *Genève-Afrique* 36:46–70.

de Rosa, Luigi. 1989. "Urbanization and Industrialization in Italy," *Journal of European Economic History* 17:469–90.

Deshpande, V. A., K. M. Phadke, and A. L. Aggarwal. 1993. "Trends of Marble Erosion Rates Due to Air Pollution in Indian Urban Centres," *Asian Environment* 15:22–35.

Desowitz, Robert S. 1997. *Who Gave Pinta to the Santa Maria?* (New York: Norton).

Dessus, Benjamin, and François Pharabod. 1990. "Jérémie et Noé: Deux scénarios énergétiques mondiaux à long terme," *Revue de l'énergie* 421:291–307.

De Vos, Antoon, R. H. Manville, and R. G. van Gelder. 1956. "Introduced Mammals and Their Influence on Native Biota," *Zoologica* 41:163–94.

de Walle, F. B., J. Lomme, and M. Nikolopoulou-Tamvakli. 1993a. "General Overview of the Environmental Quality of the Mediterranean Sea." In: F. B. de Walle, M. Nikolopoulou-Tamvakli, and W. J. Heinen, eds., *Environmental Condition of the Mediterranean Sea* (Dordrecht: Kluwer Academic), 34–179.

de Walle, F. B., M. Nikolopoulou-Tamvakli, and W. J. Heinen, eds. 1993b. *Environmental Condition of the Mediterranean Sea* (Dordrecht: Kluwer Academic).

Diani, Mario. 1995. *Green Networks: A Structural Analysis of the Italian Environmental Movement* (Edinburgh: Edinburgh University Press).

di Castri, Francesco. 1989. "History of Biological Invasions with Special Emphasis on the Old World." In: J. A. Drake et al., eds., *Biological Invasions: A Global Perspective* (Chichester: Wiley), 1–30.

Dienes, Leslie, and Theodore Shabad. 1979. *The Soviet Energy System* (New York: Wiley).

Ditt, Karl. 1996. "Nature Conservation in England and Germany, 1900–1970: Forerunner of Environmental Protection?" *Contemporary European History* 5:1–28.

Dobson, A. P., and E. R. Carper. 1996. "Infectious Disease and Human Population History," *BioScience* 46:115–26.

Dobson, A. P., and R. M. May. 1986. "Patterns of Invasion by Pathogens and Parasites." In: H. A. Mooney and J. A. Drake, eds., *Ecology of Biological Invasions of North America and Hawaii* (New York: Springer-Verlag), 58–76.

Dominick, Raymond. 1998. "Capitalism, Communism, and Environmental Protection," *Environmental History* 3:310–32.

Dorsey, Kurkpatrick. 1998. *The Dawn of Conservation Diplomacy: U.S.-Canadian Wildlife Protection Treaties in the Progressive Era* (Seattle: University of Washington Press).

Douglas, Ian. 1990. "Sediment Transfer and Siltation." In: B. L. Turner et al., eds., *The Earth as Transformed by Human Action* (New York: Cambridge University Press), 215–34.

———. 1994. "Human Settlements." In: W. B. Meyer and B. L. Turner, eds., *Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective* (New York: Cambridge University Press), 149–69.

Dourojeanni, Marc. 1989. "The Environmental Impact of Coca Cultivation and Cocaine Production in the Peruvian Amazon Basin." In: F. R. León and R. Castro de la Mata, eds., *Pasta básica de cocaina: un estudio multidisciplinario* (Lima: Centro de Información y Educación para la Prevención del Abuso de Drogas).

Drake, J. A., H. A. Mooney, F. di Castri, R. H. Groves, F. J. Kruger, M. Rejmánek, and M. Williamson, eds., 1989. *Biological Invasions: A Global Perspective* (Chichester: Wiley).

Dregne, H. E. 1982. "Historical Perspective of Accelerated Erosion and Effect in World Civilization," *Determinants of Soil Loss Tolerance* (American Society of Agronomy, Special Publication no. 45), 1–14.

Drèze, Jean, Meera Samson, and Satyajit Singh, eds. 1997. *The Dam and the Nation: Displacement and Resettlement in the Narmada Valley* (Oxford: Oxford University Press).

Druett, Joan. 1983. *Exotic Intruders: The Introduction of Plants and Animals into New Zealand* (Auckland: Heinemann).

Dryzek, John S. 1997. *The Politics of the Earth* (Oxford: Oxford University Press).

Dudka, S., R. Ponce-Hernandez, and T. C. Hutchinson. 1995. "Current Level of Total Element Concentrations in the Surface Layer of Sudbury's Soils," *Science of the Total Environment* 162:161–72.

Dunnette, David A., and Robert J. O'Brien. 1992. *The Science of Global Change: The Impact of Human Activities on the Environment* (Washington: American Chemical Society).

Dupon, J. F. 1986. *The Effects of Mining on the Environment of High Islands: A Case Study of Nickel Mining in New Caledonia* (Noumea: South Pacific Commission).

Durand, Frédéric. 1993. "Trois Siècles dans l'île du teck: Les politiques forestières aux Indes Neerlandaises (1602–1942)," *Revue française d'histoire d'Outre-Mer* 80:251–305.

Duus, Peter. 1995. *The Abacus and the Sword: The Japanese Penetration of Korea, 1895–1910* (Berkeley: University of California Press).

Earle, Sylvia. 1995. *Sea Change: A Message of the Oceans* (New York: Putnam's).

Edmondson, W. T. 1991. *The Uses of Ecology: Lake Washington and Beyond* (Seattle: University of Washington Press).

Edwards, K. 1993. "Soil Erosion and Conservation in Australia." In: David Pimentel, ed., *World Soil Erosion and Conservation* (Cambridge: Cambridge University Press), 147–70.

Eggleston, Simon, et al. 1992. "Trends in Urban Air Pollution in the United Kingdom during Recent Decades," *Atmospheric Environment* 26B:227–39.

Ehrenfeld, David. 1978. *The Arrogance of Humanism* (New York: Oxford University Press).

Ehrlich, Paul R. 1995. "The Scale of Human Enterprise and Biodiversity Loss." In: John H. Lawton and Robert M. May eds., *Extinction Rates* (Oxford: Oxford University Press), 214–26.

Eisler, Ronald. 1995. "Ecological and Toxicological Aspects of the Partial Meltdown of the Chernobyl Power Plant Reactor." In: David J. Hoffman et al., eds., *Handbook of Ecotoxicology* (Boca Raton, Fla: Lewis).

Elder, Floyd C. 1992. "Acid Deposition." In: David Dunnette and Robert J. O'Brien eds., *The Science of Global Change* (Washington: American Chemical Society), 36–63.

Ellis, Richard. 1991. *Men and Whales* (New York: Knopf).

Elmgren, R. 1989. "Man's Impact on the Ecosystem of the Baltic Sea: Energy Flows Today and at the Turn of the Century," *Ambio* 18:326–32.

Elton, Charles. 1958. *The Ecology of Invasions by Animals and Plants* (London: Chapman & Hall).

El-Shobosky, M. S., and Y. G. Al-Saedi. 1993. "The Impact of the Gulf War on the Arabian Environment," *Atmospheric Environment* 27A:95–108.

Elvin, Mark. 1993. "Three Thousand Years of Unsustainable Development: China's Environment from Archaic Times to the Present," *East Asian History* 6:7–46.

Eng, Pierre van der. 1995. "Stagnation and Dynamic Change in Indonesian Agriculture," *Jahrbuch für Wirtschaftsgeschichte 1995* 1:75–91.

Epstein, Paul R., Timothy Ford, Charles Puccia, and Christina de A. Possas. 1994. Marine Ecosystem Health: Implications for Public Health." In: Mary E. Wilson, Richard Levins, and Andrew Spielman, eds., *Disease in Evolution* (New York: Annals of the New York Academy of Sciences), 740:13–23.

Erickson, Jon. 1995. *The Human Volcano* (New York: Facts on File).

Etemad, Bouda, and Jean Luciani. 1991. *World Energy Production, 1800–1985* (Geneva: Droz).

Ettling, John. 1981. *Germ of Laziness: Rockefeller Philanthropy and Public Health in the New South* (Cambridge: Harvard University Press).

Ewald, Paul W. 1994. *Evolution of Infectious Disease* (New York: Oxford University Press).

Ezcurra, Exequiel. 1990a. "The Basin of Mexico." In: B. L. Turner et al., eds., *The Earth as Transformed by Human Action* (New York: Cambridge University Press), 577–88.

———. 1990b. *De las chinampas a la megalópolis: el medio ambiente en la Cuenca de México* (Mexico City: Fondo de Cultura Económica).

Ezcurra, Exequiel, and Marisa Mazari-Hiriart. 1996. "Are Megacities Viable: A Cautionary Tale from Mexico City," *Environment* 38(1):6–15 and 26–32.

Falkenmark, Malin. 1996. "Approaching the Ultimate Constraint: Water Shortage in the Third World." In: Bernardo Colombo, Paul Demeny, and Max Perutz, eds., *Resources and Population* (Oxford: Clarendon Press), 70–81.

Fang, J., and Z. Xie. 1994. "Deforestation in Preindustrial China: The Loess Plateau Region as an Example," *Chemosphere* 29:983–99.

Fang, Shu-hwei, and Hsiung-wen Chen. 1996. "Air Quality and Pollution Control in Taiwan," *Atmospheric Environment* 30:735–41.

Fanos, Alfy Morcos. 1995. "The Impact of Human Activities on the Erosion and Accretion of the Nile Delta," *Journal of Coastal Research* 11:821–33.

Farley, John. 1991. *Bilharzia: A History of Tropical Medicine* (Cambridge: Cambridge University Press).

Feeny, David. 1988. "Agricultural Expansion and Forest Depletion in Thailand, 1900–1975." In: John F. Richards and Richard P. Tucker, eds., *World Deforestation in the Twentieth Century* (Durham: Duke University Press), 112–43.

Fenner, Frank. 1993. "Smallpox: Emergence, Global Spread, and Eradication," *History and Philosophy of the Life Sciences* 15:397–420.

Fernando, C. H., and Juraj Holcik. 1991. "Some Impacts of Fish Introductions into Tropical Freshwaters." In: P. S. Ramakrishnan, ed., *Ecology of Biological Invasion in the Tropics* (New Delhi: International Scientific Publishers), 103–29.

Ferry, Luc. 1995. *The New Ecological Order* (Chicago: University of Chicago Press).

Feshbach, Murray. 1995. *Ecological Disaster: Cleaning Up the Hidden Legacy of the Soviet Regime* (New York: Twentieth Century Fund Press).

Feshbach, Murray, and Albert Friendly. 1992. *Ecocide in the USSR* (New York: Basic Books).

Findley, Roger. 1988. "Pollution Control in Brazil," *Ecology Law Quarterly* 15:1–68.

Fioravanti, Marc, and Arjun Makhijani. 1997. *Containing the Cold War Mess: Restructuring the Environmental Management of the U.S. Nuclear Weapons Complex* (Takoma Park, Md.: Institute for Energy and Environmental Research).

Fitter, R. S. R. 1946. *London's Natural History* (London: Collins).
Fitzgerald, Deborah. 1986. "Exporting American Agriculture: The Rockefeller Foundation in Mexico," *Social Studies of Science* 16:457–83.
———. 1990. *The Business of Breeding: Hybrid Corn in Illinois, 1890–1940* (Ithaca: Cornell University Press).
———. 1996. "Blinded by Technology: American Agriculture in the Soviet Union, 1928–1932," *Agricultural History* 70:459–86.
Fontana, Vincenzo. 1981. *Il nuovo paesaggio dell'Italiana giolittiana* (Bari: Laterza).
Ford, John. 1971. *The Role of Trypanosomiases in African Ecology: A Study of the Tsetse Fly Problem* (Oxford: Clarendon Press).
Foweraker, Joe. 1981. *The Struggle for Land* (Cambridge: Cambridge University Press).
Francks, Penelope. 1984. *Technology and Agricultural Development in Pre-War Japan* (New Haven: Yale University Press).
Frank, Philipp. 1947. *Einstein, His Life and Times* (New York: Knopf).
Freeman, O. 1993. "Perspectives and Prospects." In: Douglas Helms and Douglas Bowers, eds., *The History of Agriculture and the Environment* (Washington: Agricultural History Society), 3–11.
Freemantle, Michael. 1995. "An Acid Test for Europe," *Chemical and Engineering News* 73(18):10–17.
French, Hilary. 1997. "Learning from the Ozone Experience." In: Lester Brown, Christopher Flavin, Hilary French, eds., *State of the World* (New York: Norton), 151–71.
Freund, Peter, and George Martin. 1993. *The Ecology of the Automobile* (Montreal: Black Rose Books).
Friedrich, D., and D. Müller. 1984. "Rhine." In: B. A. Whitton, ed., *Ecology of European Rivers* (Oxford: Blackwell Scientific), 265–316.
Friedrich, Monika. 1993. "Die Aktivitten des Deutschen Stickstoff-Syndikats in Gypten, 1924–1939," *Zeitschrift für Unternehmensgeschichte* 38:26–48.
Frost, Ruth S. 1934. "The Reclamation of the Pontine Marshes," *Geographical Review* (U.S.) 24:584–95.
Fuhrer, Erwin. 1990. Forest Decline in Central Europe: Additional Aspects of Its Cause," *Forest Ecology and Management* 37:249–57.

Gadgil, Madhav, and Ramachandra Guha. 1995. "Ecological Conflicts and the Environmental Movement in India," *Development and Change* 25:101–35.
———. 1995. *Ecology and Equity: The Use and Abuse of Nature in Contemporary India* (London: Routledge).
Galat, David L., and Ann G. Frazier, eds. 1995. *Overview of River-Floodplain Ecology in the Upper Mississippi River Basin.* Vol. 3 of *Science for Floodplain Management into the 21st Century,* John Kelmelis, ed. (Washington: U.S. Government Printing Office).
Gallagher, Nancy E. 1990. *Egypt's Other Wars: Epidemics and the Politics of Public Health* (Syracuse: Syracuse University Press).
Gambell, Ray. 1993. "International Management of Whales and Whaling: An Historical Review of the Regulation of Commercial and Aboriginal Subsistence Whaling," *Arctic* 46(2):97–107.
Garbrecht, Günther. 1987. "Irrigation Throughout History—Problems and Solutions." In: W. O. Wunderlich and J. E. Prins, eds., *Water for the Future* (Rotterdam: Balkema), 3–17.
Gardner, Gary. 1997. "Preserving Global Cropland," in Lester Brown et al., eds., *State of the World 1997* (New York: Norton), 42–59.

Garfias, J., and R. González. 1992. "Air Quality in Mexico City." In: David Dunnette and Robert O'Brien, eds., *The Science of Global Change* (Washington: American Chemical Society), 149–61.

Garnett, G. P., and E. C. Holmes. 1996. "The Ecology of Emergent Infectious Disease," *BioScience* 46(2):127–35.

Garrett, Laurie. 1994. *The Coming Plague* (New York: Farrar, Straus & Giroux).

Garza Villareal, Gustavo. 1985. *El proceso de industrialización en la ciudad de México, 1821–1970* (Mexico City: El Colegio de México).

Geertz, Clifford. 1963. *Agricultural Involution* (Berkeley: University of California Press).

GEMS [Global Environmental Monitoring System]. 1989. *Global Freshwater Quality: A First Assessment*, Michel Meybeck, Deborah Chapman, and Richard Helmer, eds. (Oxford: Blackwell Scientific Publications).

Gerasimov, I. P., and A. M. Gindin. 1977. "The Problem of Transforming Runoff from Northern and Siberian Rivers to the Arid Regions of the European USSR, Soviet Central Asia, and Kazakhstan." In: Gilbert F. White, ed., *Environmental Effects of Complex River Development* (Boulder: Westview Press), 59–70.

Gerber, Michele S. 1992. *On the Home Front: The Cold War Legacy of the Hanford Nuclear Site* (Lincoln: University of Nebraska Press).

German Advisory Council on Global Change. 1995. *World in Transition: The Threat to Soils* (Berlin: Economica Verlag).

Ghose, N. C., and C. B. Sharma. 1989. *Pollution of Ganga River: Ecology of Mid-Ganga Basin* (New Delhi: Ashish Publishing House).

Giblin, James L. 1990. "Trypanosomiasis Control in African History: An Evaded Issue?" *Journal of African History* 31:59–80.

———. 1992. *The Politics of Environmental Control in Northeastern Tanzania, 1840–1940* (Philadelphia: University of Pennsylvania Press).

Gifford, J. 1998. *Planning the Interstate Highway System* (Boulder: Westview Press).

Gilbert, O. L. 1991. *The Ecology of Urban Habitats* (London: Chapman & Hall).

Gilhaus, Ulrike. 1995. *'Schmerzenskinder der Industrie': Umweltverschmutzung, Umweltpolitik und sozialer Protest im Industriezeitalter in Westfalen, 1845–1914* (Paderborn: Schöningh).

Gilmartin, David. 1994. "Scientific Empire and Imperial Science: Colonialism and Irrigation Technology in the Indus Basin," *Journal of Asian Studies* 53:1127–49.

Glacken, Clarence. 1967. *Traces on the Rhodian Shore* (Berkeley: University of California Press).

Glantz, Michael H., ed. 1992. *Climate Variability, Climate Change and Fisheries* (Cambridge: Cambridge University Press).

Gleick, Peter, ed. 1993. *Water in Crisis* (New York: Oxford University Press).

———, ed. 1999. *The World's Water 1998–99* (Washington: Island Press).

Goldman, Marshall. 1972. *The Spoils of Progress: Environmental Pollution in the Soviet Union* (Cambridge: MIT Press).

Goran, Morris. 1967. *The Story of Fritz Haber* (Norman: University of Oklahoma Press).

Gorman, Martha. 1993. *Environmental Hazards: Marine Pollution* (Santa Barbara: ABC-Clio).

Gorres, M., B. Frenzel, and H. Kempter. 1995. "Das Hochmoor als Archiv: der Elementgehalt des Torfes spiegelt die Luftverschutzung im Mittelalter und in der Romerzeit," *Telma* 35:129–141.

Goubert, Jean-Pierre. 1989. *The Conquest of Water: The Advent of Health in the Industrial Age* (Princeton: Princeton University Press).

Goudie, Andrew. 1985. "Man, Maker of Landscapes." *Geographical Magazine* 57:12–16.

Graaff, M. G. H. A. de. 1982. "Milieuvervuiling: een oud proobleem," *Spiegel Historiael* 17:86–96.
Graedel, Thomas. 1990. "Regional Environmental Forces: A Methodology for Prediction." In: John L. Helms, ed., *Energy: Production, Consumption, and Consequences* (Washington: National Academy Press), 85–110.
Graedel, Thomas, and Paul Crutzen. 1989. "The Changing Atmosphere," *Scientific American* 261(3):58–68.
———. 1990. "Atmospheric Trace Constituents." In: B. L. Turner et al., eds., *The Earth as Transformed by Human Action* (New York: Cambridge University Press), 295–312.
Graedel, Thomas, et al. 1995. "Global Emissions Inventories of Acid-related Compounds," *Water, Air and Soil Pollution* 85:25–36.
Graetz, Dean. 1994. "Grasslands." In: W. B. Meyer and B. L. Turner, eds., *Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective* (New York: Cambridge University Press), 125–48.
Graf, William L. 1985. *The Colorado River: Instability and Basin Management* (Washington: Association of American Geographers).
Graham, Michael. 1956. "Harvests of the Seas." In: William L. Thomas, ed., *Man's Role in Changing the Face of the Earth* (Chicago: University of Chicago Press, 2 vols.), 2:487–503.
Grenon, Michel, and Michel Batisse, eds. 1989. *Futures for the Mediterranean Basin* (Oxford: Oxford University Press).
Grepperud, Sverre. 1996. "Population Pressure and Land Degradation: The Case of Ethiopia," *Journal of Environmental Economics and Management* 30:18–33.
Grigg, David. 1992. *The Transformation of Agriculture in the West* (Oxford: Basil Blackwell).
Grimmett, M. Ross, and Kim Currie. 1991. "The Chemistry of Air Pollution: An Overview," *New Zealand Journal of Geography* 91:5–12.
Gröning, Gert, and Joachim Wolschke-Bulmahn. 1987a. *Die Liebe zur Landschaft. Teil III. Der Drang nach Osten* (Munich: Minerva).
———. 1987b. "Politics, Planning and the Protection of Nature," *Planning Perspectives* 2:127–48.
———. 1991. "1 September 1939. Der Überfall auf Polens als Ausgangspunkt 'totaler' Landespflege," *Raumplanung* 46/47:149–53.
Grove, A. T. 1985. *The Niger and Its Neighbors* (Rotterdam: Balkema).
Grove, Richard. 1990. "Colonial Conservation, Ecological Hegemony and Popular Resistance: Towards a Global Synthesis." In: J. M. Mackenzie, ed., *Imperialism and the Natural World* (Manchester: Manchester University Press), 15–50.
———. 1994. *Green Imperialism: Colonial Scientists, Ecological Crises, and the History of Environmental Concern, 1600–1860* (Cambridge: Cambridge University Press).
Groves, R. H., and J. J. Burdon, eds. 1986. *Ecology of Biological Invasions* (Cambridge: Cambridge University Press).
Grübler, Arnulf. 1994. "Industrialization as a Historical Phenomenon." In: R. Socolow, C. Andrews, F. Berkhout, and V. Thomas, eds., *Industrial Ecology and Global Change* (Cambridge: Cambridge University Press), 43–68.
Grübler, Arnulf, and Nebojša Nakičenovič. 1991. *Evolution of Transport Systems: Past and Future* (Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis).
Guayacochea de Onofrí, Rosa. 1987. "Urbanismo y salubridad en la ciudad de Mendoza (1880–1916)," *Revista de historia de América y Argentina* 14:171–202.
Gugler, Joseph, ed. 1996. *The Urban Transformation of the Developing World* (Oxford: Oxford University Press).
Guha, Ramachandra. 1990. *The Unquiet Woods: Ecological Change and Peasant Resistance in the Himalaya* (Berkeley: University of California Press).

Guha, Ramachandra, and J. Martinez-Alier. 1997. *Varieties of Environmentalism: Essays North and South* (London: Earthscan).
Gujja, B., and A. Finger-Stich. 1996. "What Price Prawn? Shrimp Aquaculture's Impact on Asia," *Environment* 38(7):12–15, 33–9.
Gunst, P. 1990. "Die Mechanisierung der Ungarischen Landwirtschaft bis 1945," *Etudes historiques hongroises* 1990(3):237–50.
Gutman, P. S. 1994. "Involuntary Resettlement in Hydropower Projects," *Annual Review of Energy and the Environment* 19:189–210.
Guzman, Francisco, Maria Ruiz, and Elizabeth Vega. 1996. "Air Quality in Mexico City," *Science* 271:1040–42.
Gytarsky, M. L., R. T. Karaban, I. M. Nazarov, T. I. Sysygina and M. V. Chemeris. 1995. "Monitoring of Forest Ecosystems in the Russian Subarctic: Effects of Industrial Pollution," *Science of the Total Environment* 164:57–68.

Haas, Peter. 1990. *Saving the Mediterranean: The Politics of International Environmental Cooperation* (New York: Columbia University Press).
Haberer, Klaus. 1991. "Die Belastung des Rheins mit Schadstoffen," *Geographische Rundschau* 43:334–41.
Hager, Carol J. 1995. *Technological Democracy: Bureaucracy and Citizenry in the German Energy Debate* (Ann Arbor: University of Michigan Press).
Hahn, Peter L. 1991. *The United States, Great Britain, and Egypt, 1945–1956* (Chapel Hill: University of North Carolina Press).
Hall, Jane V. 1995. "Air Quality Policy in Developing Countries," *Contemporary Economic Policy* 13:77–85.
Hannah, Lee, et al. 1994. "A Preliminary Inventory of Human Disturbance of World Ecosystems," *Ambio* 23:246–50.
Hannesson, Rognvaldur. 1994. "Trends in Fishery Management." In: Eduardo Loayza, ed., *Managing Fishery Resources* (Washington: World Bank), 91–6.
Hanley, Susan B. 1987. "Urban Sanitation in Preindustrial Japan," *Journal of Interdisciplinary History* 18:1–26.
Hardjono, J. M. 1977. *Transmigration in Indonesia* (Kuala Lumpur: Oxford University Press).
———. 1988. "The Indonesian Transmigration Program in Historical Perspective," *International Migration* 26:427–38.
Hardoy, Jorge, Diana Mitlin, and David Satterthwaite. 1993. *Environmental Problems in Third World Cities* (London: Earthscan).
Harrison, Paul. 1992. *The Third Revolution: Population, Environment and a Sustainable World* (Harmondsworth: Penguin Books).
Hartwell, Robert. 1967. "A Cycle of Economic Change in Imperial China: Coal and Iron in Northeast China, 750–1350," *Journal of the Economic and Social History of the Orient/Journal d'Histoire economique et sociale de l'Orient* 10:102–59.
Harvard Working Group on New and Resurgent Diseases. 1996. "Globalization, Development, and the Spread of Disease." In: *The Case against the Global Economy*, Jerry Mander and Edward Goldsmith, eds. (San Francisco: Sierra Club Books), 160–70.
Hashimoto, Michio. 1989. "History of Air Pollution Control in Japan." In: H. Nishimura, ed., *How to Conquer Air Pollution: A Japanese Experience* (Amsterdam: Elsevier), 1–94.
Hashimoto, Y., et al. 1994. "Atmospheric Fingerprints of East Asia, 1986–1991," *Atmospheric Environment* 28:1437–45.

Haub, Carl. 1995. "How Many People Ever Have Lived on Earth?" *Population Today* 23(2):4–5.

Hawley, T. M. 1992. *Against the Fires of Hell: The Environmental Disaster of the Gulf War* (New York: Harcourt Brace Jovanovich).

Hayami, Yujiro. 1975. *A Century of Agricultural Growth in Japan* (Tokyo: University of Tokyo Press).

Hayami, Yujiro, and Saburo Yamada. 1991. *The Agricultural Development of Japan* (Tokyo: University of Tokyo Press).

Hays, J. N. 1998. *The Burdens of Disease: Epidemics and Human Response in Western History* (New Brunswick: Rutgers University Press).

Hays, Samuel P. 1997. *Explorations in Environmental History* (Pittsburgh: University of Pittsburgh Press).

Hazell, Peter B. R., and C. Ramasamy. 1991. *The Green Revolution Reconsidered: The Impact of High-yielding Rice Varieties in South India* (Baltimore: Johns Hopkins University Press).

Headrick, Daniel. 1988. *The Tentacles of Progress: Technology Transfer in the Age of Imperialism, 1850–1940* (New York: Oxford University Press).

Headrick, Daniel. 1990. "Technological Change." In: B. L. Turner et al., eds., *The Earth as Transformed by Human Action* (New York: Cambridge University Press), 55–68.

Headrick, Rita. 1994. *Colonialism, Health and Illness in French Equatorial Africa, 1885–1935* (Atlanta: African Studies Association Press).

Hein, Laura. 1990. *Fueling Growth: The Energy Revolution and Economic Policy in Postwar Japan* (Cambridge: Harvard University Press).

Heine, Klaus. 1983. "Outline of Man's Impact on the Natural Environment in Central Mexico," *Jahrbuch für Geschichte von Staat, Wirtschaft und Gesellschaft Lateinamerikas* 20:121–31.

Helms, Douglas. 1992. *Readings in the History of the Soil Conservation Service* (Washington: USDA Soil Conservation Service, Historical Notes no. 1).

Hempel, Lamont C. 1997. "Population in Context: A Typology of Environmental Driving Forces," *Population and Environment* 18:439–61.

Herman, R., S. A. Ardakhani, and Jesse Ausubel. 1989. "Dematerialization." In: Jesse Ausubel and Hedy Sladovich, eds., *Technology and Environment* (Washington: National Academy Press), 50–69.

Hermand, Jost. 1991. *Grüne Utopien in Deutschland: Zur Geschichte des ökologischen Bewusstseins* (Frankfurt: Fischer).

Herz, O. 1989. "La politique française de prévention de la pollution atmosphérique." In: L. J. Brasser and W. L. Mulder, eds., *Man and His Ecosystem* (Amsterdam Elsevier), 1–7.

Hewa, Soma. 1992. *Colonialism, Tropical Disease and Imperial Medicine: Rockefeller Philanthropy in Sri Lanka* (Lanham, Md.: University Press of America).

Heywood, V. H., and R. T. Watson, eds. 1995. *Global Biodiversity Assessment* (Cambridge: Cambridge University Press).

Hilborn, Ray. 1990. "Marine Biota." In: B. L. Turner et al., eds., *The Earth as Transformed by Human Action* (New York: Cambridge University Press), 371–85.

Hillel, Daniel. 1991. *Out of the Earth: Civilization and the Life of the Soil* (Berkeley: University of California Press).

———. 1994. *Rivers of Eden: The Struggle for Water and the Quest for Peace in the Middle East* (New York: Oxford University Press).

Ho, Kong Chong. 1997. "From Port City to City-State: Forces Shaping Singapore's Built Environment." In: Won Bae Kim, Mike Douglass, Sang-Chuel Choe, and Kong Chong Ho, eds., *Culture and the City in East Asia* (Oxford: Clarendon Press), 212–33.

Hobbs, Peter V., and Lawrence F. Radke. 1992. "Airborne Studies of the Smoke from the Kuwait Oil Fires," *Science* 256:987–91.
Hobsbawm, Eric. 1994. *The Age of Extremes* (New York: Pantheon).
Hodgson, Dominic, and Nadine Johnston. 1997. "Inferring Seal Populations from Lake Sediments," *Nature* 387:30–1.
Hogendorn, J. S., and K. M. Scott. 1981. "The East African Groundnut Scheme: Lessons of a Large-Scale Agricultural Failure," *African Economic History* 10:81–115.
Hohenberg, Paul, and Lynn Hollen Lees. 1985. *The Making of Urban Europe, 1000–1950* (Cambridge: Harvard University Press).
Holdren, John P. 1991. "Energy in Transition." In: *Energy for Planet Earth: Readings from Scientific American Magazine* (New York: Freeman), 119–30.
Holland, Heinrich D., and Ulrich Petersen. 1995. *Living Dangerously* (Princeton: Princeton University Press).
Holloway, David. 1994. *Stalin and the Bomb: The Soviet Union and Atomic Energy, 1939–1956* (New Haven: Yale University Press).
Hong, Sungmin, Jean-Pierre Candelone, Clair C. Patterson, and Claude F. Boutron. 1996. "History of Ancient Copper Smelting Pollution during Roman and Medieval Times Recorded in Greenland Ice," *Science* 272:246–8.
Hooke, Roger L. 1994. "On the Efficacy of Humans as Geomorphic Agents," *GSA Today (Geological Society of America)* 4:217–25.
Hoppe, Kirk A. 1997. "Lords of the Fly: Environmental Images, Colonial Science and Social Engineering in British East African Sleeping Sickness Control, 1903–1963" (Ph.D. thesis, Boston University).
Hoshino, Yoshiro. 1992. "Japan's Post-Second World War Environmental Problems." In: Jun Ui, ed., *Industrial Pollution in Japan* (Tokyo: U.N. University Press), 64–76.
Hou, Wenhui. 1997. "Reflections on Chinese Traditional Ideas of Nature," *Environmental History* 2:482–93.
Houghton, R. A. 1994. "The Worldwide Extent of Land-Use Change," *BioScience* 44:305–13.
Houghton, R. A., D. S. Lefkowitz, and D. L. Skole. 1991. "Changes in the Landscape of Latin America between 1850 and 1985. I. Progressive Loss of Forests," *Forest Ecology and Management* 38:143–72.
Howell, P. P., and J. A. Allan, eds. 1994. *The Nile: Sharing a Scarce Resource* (Cambridge: Cambridge University Press).
Humphrey, Caroline, and David Sneath. 1996. *Culture and Environment in Inner Asia* (Cambridge: White Horse Press, 2 vols.).
Hunter, J. M., et al. 1993. *Parasitic Diseases in Water Resource Development* (Geneva: World Health Organization).
Hurley, Andrew, ed. 1997. *Common Fields: An Environmental History of St. Louis* (St. Louis: Missouri Historical Society Press).
Husar, Rudolf B., and Janja Djukic Husar. 1990. "Sulfur." In: B. L. Turner et al., eds., *The Earth as Transformed by Human Action* (New York: Cambridge University Press), 409–21.
Hutchinson, John F. 1985. "Tsarist Russia and the Bacteriological Revolution," *Journal of the History of Medicine and Allied Sciences* 40:420–39.
Hvidt, Martin. 1995. "Water Resource Planning in Egypt." In: Eric Watkins, ed., *The Middle Eastern Environment* (Cambridge: St. Malo Press), 90–100.
Hyndman, David. 1994. *Ancestral Rain Forests and the Mountain of Gold: Indigenous Peoples and Mining in New Guinea* (Boulder: Westview Press).

Iliffe, John. 1995. *Africans* (Cambridge: Cambridge University Press).
Illinois Department of Energy and Natural Resources. 1994. *The Changing Illinois Environment: Critical Trends* (Springfield, Ill.: IDENR, 7 vols.).
Ioffe, Grigory, and Tatyana Nefedova. 1997. *Continuity and Change in Rural Russia* (Boulder: Westview).
IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change]. 1996. *Climate Change 1995* (Cambridge: Cambridge University Press, 3 vols.).
Ipsen, Carl. 1996. *Dictating Demography: The Problem of Population in Fascist Italy* (Cambridge: Cambridge University Press).
Ispahani, Mahnaz. 1989. *Roads and Rivals: The Political Uses of Access in the Borderlands of Asia* (Ithaca: Cornell University Press).
Ives, Jack, and Bruno Messerli. 1989. *The Himalayan Dilemma* (London: Routledge).

Jacks, G. V. 1958. "The Influence of Man on Soil Fertility," *Annual Report of the Smithsonian Institution 1957* (Washington: U.S. Government Printing Office).
Jacks, G. V., and R. O. Whyte. 1939. *The Rape of the Earth: A World Survey of Soil Erosion* (London: Faber & Faber).
Jackson, Kenneth T. 1985. *Crabgrass Frontier: The Suburbanization of the United States* (New York: Oxford University Press).
Jahnke, Hans, Dieter Kirschke, and Johannes Lagemann. 1987. *The Impact of Agricultural Research on Tropical Africa* (Washington: World Bank).
Jaksic, F. M., and E. R. Fuentes. 1991. "Ecology of a Successful Invader: The European Rabbit in Central Chile." In: R. H. Groves and F. di Castri, eds., *Biogeography of Mediterranean Invasions* (Cambridge: Cambridge University Press), 273–83.
Janetos, Anthony C. 1997. "Do We Still Need Nature?" *Consequences* (U.S.) 3(1):17–25.
Jänicke, M., and H. Weidner, eds. 1996. *National Environmental Politics* (Berlin: Springer).
Jarosz, Lucy. 1993. "Defining and Explaining Tropical Deforestation: Shifting Cultivation and Population Growth in Colonial Madagascar (1895–1940)," *Economic Geography* 69:366–79.
Jayal, N. D. 1985. "Destruction of Water Resources—The Most Critical Ecological Crisis of East Asia," *Ambio* 14:95–98.
Jedrej, M. C. 1983. "The Growth and Decline of a Mechanical Agriculture Scheme in West Africa," *African Affairs* 82:541–58.
Jeleček, Leoš. 1988. "Some Thoughts on Historical Geography of Environmental Changes: Development of Agricultural Landscape of Czech Lands in Historical Perspective." In: V. V. Annenkov and L. Jeleček, eds., *Historical Geography of Environmental Changes* (Prague: Institute of Czechoslovak and World History), 351–80.
———. 1991. "Některé ekologické souvisloti vývoje zemědelské krajiny v zemedělstvi v českých zemich," *Ceský Casopis Historický* 89:375–94.
Jennings, Bruce. 1988. *Foundations of International Agricultural Research* (Boulder: Westview).
Jiang, Gaoming. 1996. "Tree Ring Analysis for Determination of Pollution History of Chengde City, North China," *Journal of Environmental Sciences* (China) 8:77–85.
Johnson, Richard. 1988. "Malaria and malaria control in the USSR, 1917–41" (Ph.D. dissertation, History Department, Georgetown University).
Jones, David C. 1987. *Empire of Dust: Settling and Abandoning the Prairie Dry Belt* (Edmonton: University of Alberta Press).
Judson, Sheldon. 1968. "Erosion of the Land, or What's Happening to Our Continents," *American Scientist* 56(4):356–74.

Kalland, Arne, and Brian Moeran. 1992. *Japanese Whaling: End of an Era?* (London: Curzon Press).

Kandler, Otto, and J. L. Innes. 1995. "Air Pollution and Forest Decline in Central Europe," *Environmental Pollution* 90:171–80.

Kaplan, Temma. 1981. "Class Consciousness and Community in Nineteenth-Century Andalusia," *Political Power and Social Theory* 2:21–57.

Karan, P. P. 1994. "Environmental Movements in India," *Geographical Journal* (U.K.) 84:32–41.

Karnosky, D. F. 1979. "Dutch Elm Disease: A Review of the History, Environmental Implications, Control, and Research Needs," *Environmental Conservation* 6:311–22.

Kasting, James. 1998. "The Carbon Cycle, Climate, and the Long-Term Effects of Fossil Fuel Burning," *Consequences* (U.S.) 4(1):15–27.

Katsoulis, Basil. 1996. "The Relationship between Synoptic, Mesoscale and Microscale Meteorological Parameters during Poor Air Quality Events in Athens, Greece," *Science of the Total Environment* 181:13–24.

Katsoulis, Basil, and J. M. Tsangaris. 1994. "The State of the Greek Environment in Recent Years," *Ambio* 23:274–9.

Katsouyanni, K., et al. 1990. "Air Pollution and Cause Specific Mortality in Athens," *Journal of Epidemiology and Community Health* 44:321–4.

Kaufman, Les, and Kenneth Mallory, eds. 1993. *The Last Extinction* (Cambridge: MIT Press).

Kay, Jane Holtz. 1997. *Asphalt Nation* (New York: Crown).

Keskinler, B., B. İpekoğlu, U. Danış, F. Acar and O. Özbay. 1994. "Hava kırılıgının Erzurum'da tarihi yapıtlara etkisi," *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences* 18:169–74.

Kettani 1993. Citation mislaid.

Keyfitz, N. 1966. "How Many People Have Lived on the Earth?" *Demography* 3:581–2.

Khalil, M. A. K., and R. A. Rasmussen. 1995. "The Changing Composition of the Earth's Atmosphere." In: H. B. Singh, ed., *Composition, Chemistry and Climate of the Atmosphere* (New York: Van Nostrand Reinhold), 50–87.

Khan, Farieda. 1997. "Soil Wars," *Environmental History* 2:439–59.

Khoshoo, T. N., and K. G. Tejwani. 1993. "Soil Erosion and Conservation in India." In: David Pimentel, ed., *World Soil Erosion and Conservation* (Cambridge: Cambridge University Press), 109–146.

King, Carolyn. 1984. *Immigrant Killers: Introduced Predators and the Conservation of Birds in New Zealand* (Auckland: Oxford University Press).

Kishk, Mohammed A. 1986. "Land Degradation in the Nile Valley," *Ambio* 15:226–30.

Kitagishi, Kazuko, and Ichiro Yamane, eds. 1981. *Heavy Metal Pollution in Soils of Japan* (Tokyo: Japan Scientific Societies Press).

Kizaki, Harumichi. 1938. *Keikan yori Mitaru Nihon Seishin* [Japanese Spirit from the Perspective of Nature] (Tokyo: Kokudosha).

Kjekshus, Helge. 1977. *Ecology Control and Economic Development in East African History* (Berkeley: University of California Press).

Klarer, J., and B. Moldan, eds. 1997. *The Environmental Challenges for Central European Economies in Transition* (Chichester: Wiley).

Klein, Herbert S. 1995. "European and Asian Migration to Brazil." In: Robin Cohen, ed., *The Cambridge Survey of World Migration* (New York: Cambridge University Press), 208–14.

Klein Robbenhaar, J. F. I. 1995. "Agro-Industry and the Environment: The Case of Mexico in the 1990s," *Agricultural History* 69:395–412.

Klidonas, Y. 1993. "The Quality of the Atmosphere in Athens," *Science of the Total Environment* 129:83–94.

Klige, R. K., Liu Hong, and A. O. Selivanov. 1996. "Regime of the Aral Sea during Historical Time," *Water Resources* (Russia; English translation) 23:375–80.

Klimm, Lester E. 1956. "Man's Ports and Channels." In: William L. Thomas, ed., *Man's Role in Changing the Face of the Earth* (Chicago: University of Chicago Press, 2 vols.), 2:522–41.

Klumpp, A., M. Domingos, and G. Klumpp. 1996. "Assessment of the Vegetation Risk by Fluoride Emissions from Fertiliser Industries at Cubatão, Brazil," *Science of the Total Environment* 192:219–28.

Knapen, Han. 1998. "Lethal Diseases in the History of Borneo: Mortality and the Interplay between Disease Environment and Human Geography." In: Victor T. King, ed., *Environmental Challenges in South-East Asia* (Richmond: Curzon Press for Nordic Institute of Asian Studies), 69–94.

Knox, George. 1994. *The Biology of the Southern Ocean* (Cambridge: Cambridge University Press).

Kobori, Iwao, and Michael H. Glantz, eds. 1998. *Central Eurasian Water Crisis* (Tokyo: U.N. University Press).

Kock, K. -H. 1995. "Walfang und Walmanagement in den Polarmeeren," *Historisch-Meereskundliches Jahrbuch* 3:7–34.

Konvitz, Josef. 1985. *The Urban Millennium* (Carbondale: Southern Illinois University Press).

Kosambi, Meera. 1986. *Bombay in Transition: The Growth and Social Ecology of a Colonial City, 1880–1980* (Stockholm: Almquist and Wiksell International).

Kostin, V. 1986. "Protection of the Sea of Azov," *Ambio* 15(5):350.

Kotamarthi, V. R., and G. R. Carmichael. 1990. "The Long Range Transport of Pollutants in the Pacific Rim Region," *Atmospheric Environment* 24A:1521–34.

Kotkin, Stephen. 1995. *Magnetic Mountain: Stalinism as a Civilization* (Berkeley: University of California Press).

Kotov, Vladimir, and Elena Nikitina. 1996. "Norilsk Nickel," *Environment* 38(9):6–11, 32–37.

Krause, Richard M. 1992. "Origin of Plagues: Old and New," *Science* 257:1073–8.

Krishnan, A. Radha, and Malcom Tull. 1994. "Resource Use and Environmental Management in Japan, 1890–1990," *Australian Economic History Review* 34:3–23.

Krishnan, Rajaram, Jonathan M. Harris, and Neva Goodwin, eds. 1995. *A Survey of Ecological Economics* (Washington: Island Press).

Kucera, V., and S. Fitz. 1995. "Direct and Indirect Air Pollution Effects on Materials Including Cultural Monuments," *Water, Air and Soil Pollution* 85:153–65.

Kudo, Akira, and Shojiro Miyahara. 1991. "A Case History; Minamata Mercury Pollution in Japan—From Loss of Human Lives to Decontamination," *Water Science and Technology* 23:283–90.

Kummer, David. 1991. *Deforestation in the Postwar Philippines* (Chicago: University of Chicago Press).

———. 1994. "Environmental Degradation in the Uplands of Cebu," *Geographical Review* (U.S.) 84:266–76.

Kunitz, Stephen J. 1994. *Disease and Social Diversity: The European Impact on Non-European Health* (New York: Oxford University Press).

Kuusela, Kullervo. 1994. *Forest Resources in Europe, 1950–1990* (Cambridge: Cambridge University Press).

Lacy, Rodolfo, ed. 1993. *La calidad del aire en el valle de México* (Mexico City: Colegio de México).

Lafferty, William M., and James Meadowcroft, eds. 1996. *Democracy and the Environment: Problems and Prospects* (Cheltenham: Edward Elgar).

Laj, Paolo, Julia Palais, and Haralder Sigurdsson. 1992. "Changing Impurities to the Greenland Ice Sheet over the Last 250 Years," *Atmospheric Environment* 26A:2627–40.

Lal, R. 1990. "Soil Erosion and Land Degradation: The Global Risks," *Advances in Soil Science* 11:129–72.

Lal, R., and F. J. Pierce. 1991a. "The Vanishing Resource." In: R. Lal and F. J. Pierce, eds., *Soil Management for Sustainability* (Ankeny, Iowa: Soil and Water Conservation Society), 1–6.

Lal, R., and F. J. Pierce, eds. 1991b. *Soil Management for Sustainability* (Ankeny, Iowa: Soil and Water Conservation Society).

Lambert, Audrey M. 1971. *The Making of the Dutch Landscape: An Historical Geography of the Netherlands* (London: Seminar Press).

Landau, Matthew. 1992. *Introduction to Aquaculture* (Chichester: Wiley).

Larsson, Ulf, Ragnor Elmgren, and Fredrik Wulff. 1985. "Eutrophication and the Baltic Sea: Causes and Consequences," *Ambio* 14(1):9–14.

Lawton, John H., and Robert M. May, eds. 1995. *Extinction Rates* (Oxford: Oxford University Press).

Lay, M. G. 1992. *Ways of the World: A History of the World's Roads and the Vehicles That Used Them* (New Brunswick: Rutgers University Press).

Leakey, Richard, and Roger Lewin. 1995. *The Sixth Extinction* (New York: Doubleday).

Lear, Linda. 1997. *Rachel Carson* (New York: Henry Holt).

Lee, James Z., and Wang Feng. 1999. *Malthusian Mythology and Chinese Reality: The Population History of One Quarter of Humanity, 1700–2000* (Cambridge: Harvard University Press).

Lee, Yok-shiu, and Alvin Y. So. 1999. *Asia's Environmental Movements* (Armonk, N.Y.: M. E. Sharpe).

Lelek, Antonin. 1989. "The Rhine River and Some of Its Tributaries Under Human Impact in the Last Two Centuries." In: D. P. Dodge, ed., *Proceedings of the International Large River Symposium* (Ottawa: Department of Fisheries and Oceans, Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences no. 106), 469–87.

Le Lourd, Philippe. 1977. "Oil Pollution in the Mediterranean Sea," *Ambio* 6:317–20.

Lents, James, and William Kelly. 1993. "Cleaning the Air in LA," *Scientific American* 269(4):32–9.

Leontidou, Lila. 1990. *The Mediterranean City in Transition* (Cambridge: Cambridge University Press).

Levang, P., and O. Sevin. 1989. "80 ans de Transmigration en Indonésie," *Annales de géographie* 98:538–66.

Levinson, Arik. 1992. *Efficient Environmental Regulation: Case Studies of Urban Air Pollution* (Washington: World Bank).

Levy, Stuart. 1992. *The Antibiotic Paradox* (New York: Plenum Press).

Lewis, Martin W. 1992. *Wagering the Land: Ritual, Capital, and Environmental Degradation in the Cordillera of Northern Luzon, 1900–1986* (Berkeley: University of California Press).

Lewis, Tom. 1997. *Divided Highways: Building the Interstate Highways, Transforming American Life* (New York: Viking).

Liao, I-chu, and Chung-zen Shyu. 1992. "Evaluation of Aquaculture in Taiwan: Status and Constraints." In: J. B. Marsh, ed., *Resources and Environment in Asia's Marine Sector* (Washington: Taylor & Francis), 185–98.

Lincoln, W. Bruce. 1994. *The Conquest of a Continent: Siberia and the Russians* (New York: Random House).
Linden, Olof. 1990. "Human Impact on Tropical Coastal Zones," *Nature and Resources* 26(4):3–11.
Little, Charles. 1995. *The Dying of the Trees* (New York: Viking).
Livi-Bacci, Massimo. 1992. *A Concise History of World Population* (Oxford: Basil Blackwell).
Livingstone, David N. 1994. "The Historical Roots of Our Ecological Crisis: A Reassessment," *Fides et Historia* 26:38–55.
Locke, G., and K. K. Bertine. 1986. "Magnetite in Sediments as an Indication of Coal Combustion," *Applied Geochemistry* 1:345–56.
Logan, T. J. 1990. "Chemical Degradation of Soil," *Advances in Soil Sciences* 11:187–221.
Long, John L. 1981. *Introduced Birds of the World* (Sydney: Reed).
Lonkiewicz, B., W. Strykowski, and Z. Pryzborski. 1987. "Poland." In: E. G. Richards, ed., *Forestry and Forest Industries: Past and Future* (Dordrecht: Martinus Nijhoff), 363–71.
Louis, William Roger, and Roger Owen, eds. 1989. *Suez 1956* (Oxford: Clarendon Press).
Low, Allan. 1985. *Agricultural Development in Southern Africa* (London: James Currey).
Low, Kwai Sim, and Yat Hoong Yip. 1984. "An Overview of Past Researches and Contemporary Issues on Urbanization and Ecodevelopment in Malaysia with Special Reference to Kuala Lumpur." In: Yip and Low, eds., *Urbanization and Ecodevelopment* (Kuala Lumpur: University of Malaya Institute of Advanced Studies), 11–37.
Lower, A. R. M. 1973. *Great Britain's Woodyard: British America and the Timber Trade* (Montreal and Kingston: McGill–Queen's University Press).
Lowi, Miriam. 1993. *Water and Power: The Politics of a Scarce Resource in the Jordan River Basin* (Cambridge: Cambridge University Press).
Lowman, Gwen, and Rita Gardner. 1996. "Conference Report: Petroleum and Nigeria's Environment," *Geographical Journal* (U.K.) 162:358–9.
Lubin, Nancy. 1995. "Uzbekistan." In: Philip R. Pryde, ed., *Environmental Resources and Constraints in the Former Soviet Republics* (Boulder: Westview), 289–306.
Lucas, AnElissa. 1982. *China's Medical Modernization* (New York: Praeger)
Ludwig, Donald, Ray Hilborn, and Carl Walters. 1993. "Uncertainty, Resource Exploitation, and Conservation: Lessons from History," *Science* 260:17–36.
Ludyansky, M. L., Derek McDonald, and David MacNeill. 1993. "Impact of the Zebra Mussel, a Bivalve Invader," *BioScience* 43:533–44.
Lumsden, Malvern. 1975. "Conventional Warfare and Human Ecology," *Ambio* 4:223–8.
Lupton, F. G. H. 1987. "History of Wheat Breeding." In: F. G. H. Lupton, ed., *Wheat Breeding* (London: Chapman & Hall), 51–70.
L'vovich, Mark, and Gilbert F. White. 1990. "Use and Transformation of Terrestrial Water Systems." In: B. L. Turner et al., eds., *The Earth as Transformed by Human Action* (New York: Cambridge University Press), 235–252.
Lyons, Maryinez. 1992. *The Colonial Disease: A Social History of Sleeping Sickness in Northern Zaire, 1900–1940* (Cambridge: Cambridge University Press).

MacCleery, Douglas W. 1994. *American Forests: A History of Resilience and Recovery* (Durham: Forest History Society).
MacDonald, Calum, Eric Hampton, and Owen Harrop. 1993. "The Changing Face of Glasgow's Air Quality," *Clean Air* 22:233–7.
Macfarlane, Alan. 1997. *The Savage Wars of Peace: England, Japan, and the Malthusian Trap* (Oxford: Blackwell).

Mack, R. N. 1986. "Alien Plant Invasions into the Intermountain West: A Case History." In: H. A. Mooney and J. A. Drake, eds., *Ecology of Biological Invasions of North America and Hawaii* (New York: Springer-Verlag), 191–213.

———. 1989. "Temperate Grasslands Vulnerable to Plant Invasions: Characteristics and Consequences." In: J. A. Drake et al., eds., *Biological Invasions: A Global Perspective* (Chichester: Wiley), 155–79.

MacKellar, F. Landis, Wolfgang Lutz, A. J. McMichael, and Astri Suhrke. 1998. "Population and Climate Change." In: Steve Rayner and Elizabeth Malone eds., *Human Choice and Climate Change* (Columbus: Battelle Press, 4 vols.), 1:89–193.

Mackenzie, J. M., ed. 1990. *Imperialism and the Natural World* (Manchester: Manchester University Press).

Maddison, Angus. 1995. *Monitoring the World Economy, 1820–1992* (Paris: OECD Development Centre).

Maddox, Gregory, James Giblin, and Isaria Kimambo, eds. 1996. *Custodians of the Land: Ecology and Culture in the History of Tanzania* (London: James Currey).

Mageed, Yahia Abdel. 1994. "The Central Region: Problems and Perspectives," In: Peter Rogers and Peter Lydon, eds., *Water in the Arab World* (Cambridge: Harvard University Press, 1994), 101–20.

Majkowski, Slawomir. 1994. "Oberschlesien, ein ökologisches Katastrophengebiet," *Osteuropa-Wirtschaft* 39:310–34.

Majumdar, S. K., E. W. Miller, and J. J. Cahir, eds. 1991. *Air Pollution: Environmental Issues and Health Effects* (Easton: Pennsylvania Academy of Sciences).

Makhijani, Arjun, Howard Hu, and Katherine Yih. 1995. *Nuclear Wastelands: A Global Guide to Nuclear Weapons Production and Its Health and Environmental Effects* (Cambridge: MIT Press).

Malle, Karl-Geert. 1996. "Cleaning Up the River Rhine," *Scientific American* 274(1):70–75.

Mamane, Y. 1987. "Air Pollution Control in Israel during the First and Second Century," *Atmospheric Environment* 21:1861–63.

Mander, Jerry, and Edward Goldsmith, eds. 1996. *The Case Against the Global Economy* (San Francisco: Sierra Club Books).

Mandrillon, Marie-Hélène. 1991. "Les voies du politique en URSS: L'exemple de l'écologie," *Annales: Economies, sociétés, civilisations* 46(6):1375–98.

Mangelsdorf, Paul C. 1974. *Corn: Its Origin, Evolution, and Improvement* (Cambridge: Belknap Press).

Mann, Michael E., Raymond S. Bradley and Malcolm K. Hughes. 1998. "Global-Scale Temperature Patterns and Climate Forcing over the Past Six Centuries," *Nature* 392:779–87.

Manning, Richard. 1995. *Grassland* (New York: Viking).

Mannion, A. M. 1995. *Agriculture and Environmental Change* (Chichester: Wiley).

Mantis, Homer T., and Christos C. Repapis. 1992. "Assessment of the Potential for Photochemical Air Pollution in Athens: A Comparison of Emissions and Air-Pollutant Levels in Athens with Those in Los Angeles," *Journal of Applied Meteorology* 31:1467–76.

Manuel, Frank E. 1995. *A Requiem for Karl Marx* (Cambridge: Harvard University Press).

Manzanova, G. V., and A. K. Tulokhonov. 1994. "Traditsii i novatsii v razvitii sel'skogo khoziaistva zabaikal'ia," *Vostok* 1:100–13.

Marchak, M. Patricia. 1995. *Logging the Globe* (Montreal and Kingston: McGill–Queen's University Press).

Marchetti, Roberto, and Attilio Rinaldi. 1989. "Le condizioni del Mare Adriatico." In: Giovanni Melandri, ed., *Ambiente italia* (Turin: ISEDI), 33–7.

Martinez-Alier, J. 1987. *Ecological Economics* (Oxford: Blackwell).

Mason, B. J. 1992. *Acid Rain: Its Causes and Its Effects on Inland Waters* (Oxford: Oxford University Press).
Massey, John Stewart. 1992. *The Nature of Russia* (New York: Cross River Press).
Mather, Alexander S. 1990. *Global Forest Resources* (London: Belhaven Press).
Matson, Stacey, and E. Lynn Miller. 1991. "Air Pollution and Its Effects on Buildings and Monuments." In: Majumdar, S. K., E. W. Miller, and J. J. Cahir, eds., *Air Pollution: Environmental Issues and Health Effects* (Easton: Pennsylvania Academy of Sciences), 242–54.
Maurer, G. 1968. "Les paysans de Haut Rif Central," *Revue de géographie du Maroc* 14:3–70.
May, Robert M., John H. Lawton, and Nigel Stork. 1995. "Assessing Extinction Rates." In: John Lawton and Robert May, eds., *Extinction Rates* (Oxford: Oxford University Press), 1–24.
McCann, James C. 1997. "The Plow and the Forest: Narratives of Deforestation in Ethiopia, 1840–1992," *Environmental History* 2:138–59.
McCormick, John. 1991. *Reclaiming Paradise: The Global Environmental Movement* (Bloomington: Indiana University Press).
McCreery, David. 1989. "Tierra, trabajo y conflicto en San Juan Ixcoy, Huehuetenango, 1890–1940," *Anales de la Academia de Geografía e Historia de Guatemala* 63:101–12.
McEvedy, Colin, and Richard Jones. 1978. *Atlas of World Population History* (Harmondsworth: Penguin).
McEvoy, Arthur P. 1986. *The Fisherman's Problem: Ecology and Law in the California Fisheries, 1860–1980* (New York: Cambridge University Press).
McGovern, Thomas. 1994. "Management for Extinction in Norse Greenland." In: Carol Brumley, ed., *Historical Ecology* (Santa Fe: School of American Research Press).
McKean, Margaret. 1981. *Environmental Protest and Citizen Politics in Japan* (Berkeley: University of California Press).
———. 1985. "The Evolution of Japanese Images of the Environment," *Internationales Asienforum* 16:25–48.
McNeill, J. R. 1988. "Deforestation in the Araucaria Zone of Southern Brazil, 1900–1983." In: J. F. Richards and R. P. Tucker, eds., *World Deforestation in the Twentieth Century* (Durham: Duke University Press), 1–32.
———. 1992a. "Kif in the Rif: An Historical and Ecological Perspective on Marijuana, Markets, and Manure in Northern Morocco," *Mountain Research and Development* 12:389–92.
———. 1992b. *The Mountains of the Mediterranean: An Environmental History* (New York: Cambridge University Press).
McNeill, William H. 1976. *Plagues and Peoples* (New York: Doubleday).
Meade, Robert H., T. R. Yuzyk, and T. J. Day. 1990. "Movement and Storage of Sediment in Rivers of the United States and Canada." In: M. G. Wolman and H. C. Riggs, eds., *Surface Water Hydrology* (Boulder: Geological Society of America), 255–80.
Melosi, Martin V. 1981. *Garbage in the Cities: Refuse, Reform and the Environment, 1880–1980* (College Station: Texas A&M University Press).
———. 1985. *Coping with Abundance: Energy and Environment in Industrial America* (Philadelphia: Temple University Press).
———. 1990. "Cities, Technical Systems, and the Environment," *Environmental History Review* 14:45–64.
———. 1993. "The Place of the City in Environmental History," *Environmental History Review* 17:1–23.
Menzies, Nicholas. 1996. "Forestry." In: Joseph Needham, ed., *Science and Civilization in China. VI. Biology and Biological Technology*, pt. 3 (Cambridge: Cambridge University Press), 540–689.
Mercer, Alex. 1990. *Disease, Mortality and Population in Transition: Epidemiological-*

Demographic Change in England since the Eighteenth Century as Part of a Global Phenomenon (Leicester: Leicester University Press).
Merchant, Carolyn. 1980. *The Death of Nature: Women, Ecology, and the Scientific Revolution* (San Francisco: Harper & Row).
Metaxas, Ioannis. 1969. *Logoi kai skepseis* [Speeches and Thoughts] (Athens: Ikaros, 2 vols.).
Meybeck, Michel. 1979. "Concentrations des eaux fluviales en éléments majeurs et apports en solution aux océans," *Revue de géologie dynamique et géographie physique* 221:215–46.
Meybeck, Michel, and Richard Helmer. 1989. "The Quality of Rivers: From Pristine Stage to Global Pollution," *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 75:283–309.
Meyer, William. 1996. *Human Impact on the Earth* (New York: Cambridge University Press).
Michaux, Jacques, Gilles Cheylan, and Henri Croset. 1990. "Of Mice and Men." In: F. di Castri, A. J. Hansen, and M. Debussche, eds., *Biological Invasions in Europe and the Mediterranean Basin* (Dordrecht: Kluwer Academic), 263–84.
Michel, Aloys Arthur. 1967. *The Indus Rivers: A Study of the Effects of Partition* (New Haven: Yale University Press).
Micklin, Philip. 1995. "Turkmenistan." In: Philip R. Pryde, ed., *Environmental Resources and Constraints in the Former Soviet Republics* (Boulder: Westview), 275–88.
Micklin, Philip, and William D. Williams, eds. 1995. *The Aral Sea Basin* (Berlin: Springer-Verlag).
Miège, J.-L. 1989. "The French Conquest of Morocco." In: J. A. de Moor and H. L. Wesselring, eds., *Imperialism and War* (Leiden: E. J. Brill), 201–17.
Mielke, Howard W., Jana C. Anderson, and Kenneth J. Berry. 1983. "Lead Concentrations in Inner-City Soils as a Factor in the Child Lead Problem," *American Journal of Public Health* 73:1366–69.
Mignon, Christian. 1981. *Campagnes et paysans de l'Andalousie méditerranéenne* (Clermont-Ferrand: Faculté des Lettres et Sciences Humaines).
Milliman, J. D., and R. H. Meade. 1983. "World-Wide Delivery of River Sediments to the Oceans," *Journal of Geology* 91:1–21.
Milliman, John D., Yun-shan Qin, Moi-E Ren, and Yoshiki Saito. 1987. "Man's Influence on the Erosion and Transport of Sediments by Asian Rivers: The Yellow River (Huanghe) Example," *Journal of Geology* 95:751–62.
Mills, Edward L., Joseph H. Leach, James T. Carlton, and Carol L. Secor. 1993. "Exotic Species in the Great Lakes: A History of Biotic Crises and Anthropogenic Introductions," *Journal of Great Lakes Research* 19:1–54.
Mitchell, B. R. 1978. *European Historical Statistics, 1750–1970* (New York: Columbia University Press).
———. 1993. *International Historical Statistics: The Americas 1750–1988* (New York: Stockton Press).
———. 1995. *International Historical Statistics: Africa, Asia, & Oceania, 1750–1988* (New York: Stockton Press).
Miura, Toyohiko. 1975. *Taiki osen kara mita kankyo hakai no rekishi* [History of Environmental Destruction from the Perspective of Air Pollution] (Tokyo: Rodo Kagaku Sosho).
Moldan, Bedr˘ich. 1997. "Czech Republic." In: J. Klarer and B. Moldan, eds., *The Environmental Challenge for Central European Economies in Transition* (Chichester: Wiley), 107–29.
Molina Buck, J. S. 1993. "Soil Erosion and Conservation in Argentina." In: David Pimentel, ed., *World Soil Erosion and Conservation* (Cambridge: Cambridge University Press), 171–92.
Molinelli-Cancellieri, Lucia. 1995. *Boues Rouges: La Corse dit non* (Paris: L'Harmattan).

Monastersky, Richard. 1994. "Earthmovers: Humans Take Their Place Alongside Wind, Water and Ice," *Science News* 146:432–33.

Monteiro, Salvador, and Leonel Kaz. 1992. *Floresta atlântica* (Rio de Janeiro: Edições Alumbramento).

Moore, Curtis. 1995. "Poisons in the Air," *International Wildlife* 25:38–45.

Moore, T. R. 1979. "Land Use and Erosion in the Machakos Hills," *Association of American Geographers, Annals* 69:419–31.

Morris-Suzuki, Tessa. 1994. *The Technological Transformation of Japan* (New York: Cambridge University Press).

Morse, Stephen S., ed. 1993. *Emerging Viruses* (New York: Oxford University Press).

Moser, Henri. 1894. *L'irrigation en Asie centrale* (Paris: Editions Scientifique).

Moulin, Anne Marie. 1992. "La métaphore vaccine: De l'inoculation à la vaccinologie," *History and Philosophy of the Life Sciences* 14:271–97.

Moussiopoulos, N., H. Power and C. A. Brebbia, eds. 1995. *Urban Pollution.* Vol. 3 of *Air Pollution III* (Southampton, U.K.: Computational Mechanics Publishers).

Munch, Peter. 1993. *Stadthygiene im 19. und 20. jahrhundert* (Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht).

Murley, Loveday, ed. 1995. *Clean Air around the World* (Brighton: International Union of Air Pollution Prevention and Environmental Protection Associations).

Murray, Christopher J. L., and Alan D. Lopez eds. 1996, *The Global Burden of Disease* (Cambridge: Harvard School of Public Health).

Murphy, Frederick A. 1994. "New, Emerging, and Reemerging Infectious Diseases," *Advances in Virus Research* 43:1–52.

Murphy, Frederick A., and Neal Nathanson. 1994. "The Emergence of New Virus Diseases: An Overview," *Virology* 5:87–102.

Myers, K. 1986. "Introduced Vertebrates in Australia, with an Emphasis on Mammals." In: R. H. Groves and J. J. Burdon, eds., *Ecology of Biological Invasions* (Cambridge: Cambridge University Press), 120–36.

Myers, Norman. 1993. "Population, Environment, and Development." *Environmental Conservation* 20:205–16.

Nagy, Laszló. 1988. "A Duna hasznosítása," *Földrajzi Közlemények* 36(1–2):55–60.

Naiman, R. J., J. M. Melillo, and E. J. Hobbie. 1986. "Ecosystem Alteration of Boreal Forest Streams by Beaver *(Castor canadiensis)*," *Ecology* 67:1254–69.

Nakahara, Hiroyuki. 1992. "Japanese Efforts in Marine-Ranching Development." In: J. B. Marsh, ed., *Resources and Environment in Asia's Marine Sector* (Washington: Taylor & Francis), 199–218.

Nakicenovic, Nebojsa. 1996. "Freeing Energy from Carbon," *Daedalus* (U.S.) 125(3):95–112.

Natural Resources Defense Council. 1996. *Breath-Taking: Premature Mortality Due to Particulate Air Pollution in 239 American Cities* (Washington: NRDC).

Nemecek, Sasha. 1995. "When Smog Gets in Your Eyes," *Scientific American* 273 (July):29–30.

Neu, Harold C. 1992. "Crisis in Antibiotic Resistance," *Science* 257:1064–73.

Neuvy, Guy. 1991. *L'homme et l'eau dans le domaine tropical* (Paris: Masson).

Nielsen, Svend. 1988. "Dansk Landbrug, 1788–1988," *Arv og Eje* 1988:7–62.

Nilsen, Knut Erik, and Frederic Hauge. 1992. "Mayak: The Most Radioactive Polluted Place on Earth," Bellona Foundation (Oslo), Report no. 1:92.

Nilsen, Thomas, and Nils Bohmer. 1994. *Sources to Radioactive Contamination in Murmansk and Arkanghel'sk Counties* (Oslo: Bellona Foundation).

Nimura, Kazuo. 1997. *The Ashio Riot of 1907: A Social History of Mining in Japan* (Durham: Duke University Press).
Nir, Dov. 1983. *Man, A Geomorphological Agent* (Dordrecht: Reidel).
Nishigaki, S., and M. Harada. 1975. "Methylmercury and Selenium in Umbilical Cords of Inhabitants of the Minamata Area," *Nature* 258:324–5.
Nishimura, H., ed. 1989. *How to Conquer Air Pollution: A Japanese Experience* (Amsterdam: Elsevier).
Nolte, Ernst. 1966. *Three Faces of Fascism* (New York: Holt, Rinehart & Winston).
Northrup, David. 1995. *Indentured Labor in the Age of Imperialism, 1834–1922* (New York: Cambridge University Press).
Norwich, John Julius. 1991. "Venice in Peril," *Proceedings of the Royal Institution of Great Britain* 63:243–67.
Notehelfer, F. G. 1975. "Japan's First Pollution Incident," *Journal of Japanese Studies* 1:351–84.
NRC [National Research Council]. 1989. *Irrigation-induced Water Quality Problems: What Can Be Learned from the San Joaquin Valley Experience* (Washington: NRC).
———. 1992. *Restoration of Aquatic Ecosystems* (Washington: National Academy Press).
———. 1993a. *Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture* (Washington: National Academy Press).
———. 1993b. *Sustainable Agriculture and the Environment in the Humid Tropics* (Washington: National Academy Press).
———. 1996. *The Bering Sea Ecosystem* (Washington: National Academy Press).
Nriagu, J. O. 1990a. "Global Metal Pollution," *Environment* 32(7):7–11, 28–33.
———. 1990b. "The Rise and Fall of Leaded Gasoline," *Science of the Total Environment* 92:13–28.
———. 1994. "Industrial Activity and Metal Emissions." In: R. Socolow, C. Andrews, F. Berkhout, and V. Thomas, eds., *Industrial Ecology and Global Change* (Cambridge: Cambridge University Press), 277–85.
———. 1996. "History of Global Metal Pollution," *Science* 272 (12 April 1996):223–4.
Nriagu, Jerome, Champak Jinabhai, Rajen Naidoo, and Anna Coutsoudis. 1996a. "Atmospheric Lead Pollution in KwaZulu/Natal, South Africa," *Science of the Total Environment* 191:69–76.
Nriagu, J. O., Mary Blankson, and Kwamena Ocran. 1996b. "Childhood Lead Poisoning in Africa," *Science of the Total Environment* 181:93–100.
Nuccio, Richard, and Angelina Ornelas. 1987. *Developing Disasters: Mexico's Environment and the United States* (Washington: World Resources Institute).

Obeng, L. E. 1977. "Should Dams Be Built? The Volta Lake Example," *Ambio* 6:46–50.
OECD [Organization for Economic Cooperation and Development]. 1995. *Motor Vehicle Pollution* (Paris: OECD).
———. 1998. *The Environmental Effects of Reforming Agricultural Policies* (Paris: OECD).
OECD Nuclear Energy Agency. 1995. "Chernobyl Ten Years On: Radiological and Health Impact." Unpublished report available at *http://www.nea.fr/html/rp/chernobyl/allchernobyl.html.*
Ogawa, Y. 1991. "Economic Activity and the Greenhouse Effect," *Energy Journal* 12:23–6.
Ogutu-Ohwayo, R. 1990. "The Decline of Native Fishes of Lakes Victoria and Kyoga (East Africa) and the Impact of Introduced Species," *Environmental Biology of Fishes* 27:81–96.
Okada, Yuko. 1993. "Kosaka kozan engai mondai to hantai undo, 1901–17," [The movement

against smoke pollution at the Kosaka copper mine, 1901–17] *Shakai-Keizai Shigaku* 56:59–89.

Oldstone, Michael B. A. 1998. *Viruses, Plagues and History.* (New York: Oxford University Press).

Oliver, Harold H. 1992. "The Neglect and Recovery of Nature in the Twentieth-Century Protestant Thought," *American Academy of Religion: Journal* 60:379–404.

Olson R., D. Binkley, and M. Böhm, eds. 1992. *The Response of Western Forests to Air Pollution* (New York: Springer-Verlag).

Olson, R. A. 1987. "The Use of Fertilizers and Soil Amendments." In: M. G. Wolman and F. G. A. Fourier, eds., *Land Transformation in Agriculture* (Chichester: Wiley), 203–26.

Omrane, Mohammed Maceur. 1991. "La croissance de l'agglomération de Tunis, et ses conséquences sur l'utilisation de l'eau." In: *L'eau et la ville* [no editor] (Tours: Centre d'Études et de Recherches URBAMA), 163–72.

Ondiege, Peter. 1996. "Land Tenure and Soil Conservation." In: Calestous Juma and J. B. Ojwang, eds., *In Land We Trust: Environment, Private Property and Constitutional Change* (Nairobi: Initiatives Publishers), 117–42.

Opie, John. 1987. "Renaissance Origins of the Environmental Crisis," *Environmental Review* 11:2–17.

———. 1993. *Ogallala: Water for a Dry Land* (Lincoln: University of Nebraska Press).

Ordos, J. 1991. "Landnutzung und Umweltprobleme in der Slowakischen Republik," *Österreichische Osthefte* 33:697–716.

Orhonlu, Cengiz. 1984. *Osmanlı Imperatorluğunda Şehircilik ve Ulaşim* (Izmir: Ticaret Matbaacılık T.A.S.).

Osaghae, Eghosa E. 1995. "The Ogoni Uprising," *African Affairs* 94:325–44.

Oschlies, Wolf. 1985. *Aus Sorge um "Mutter Erde": Unweltschutz und Okologiediskussion in Bulgarien* (Cologne: Bundesinstitut für Ostwissenschaftliche und Internationale Studien).

Ostrom, Elinor. 1992. "The Rudiments of a Theory of the Origins, Survival and Performance of Common-Property Institutions." In: Daniel W. Bromley, ed., *Making the Commons Work* (San Francisco: Institute for Contemporary Studies), 293–318.

Öziş, Ünal. 1987. "Historical Parallels in the Water Supply Development of Rome and Istanbul," In: W. O. Wunderlich and J. E. Prins, eds., *Water for the Future* (Rotterdam: Balkema), 35–44.

Outwater, Alice. 1996. *Water: A Natural History* (New York: Basic Books).

Palloni, Alberto. 1994. "The Relation between Population and Deforestation: Methods for Drawing Causal Inferences from Macro and Micro Studies." In: Lourdes Arizpe, Priscilla Stone, and David Major, eds., *Population and Environment: Rethinking the Debate* (Boulder: Westview), 125–65.

Panjari, Rance K. L. 1997. *The Earth Summit at Rio* (Boston: Northeastern University Press).

Pantazopoulou, A., et al. 1995. "Short-Term Effects of Air Pollution on Hospital Emergency Outpatient Visits and Admissions in the Greater Athens, Greece Area," *Environmental Research* 69:31–6.

Papaioanniou, J. 1967. "Air Pollution in Athens," *Ekistics* 24:72–80.

Pascon, Paul, and Jacques Berque 1978. *Structures sociales du Haut-Atlas* (Paris: Presses Universitaires de France).

Pattas, K., Z. Samaras, N. Moussiopoulos, and K.-H. Zierock. 1994. *Policy for Reduction of Traffic Related Emissions in the Greater Athens Area* (Luxembourg: European Commission).

Paul, Adam. 1987. "Les nouvelles pêches maritimes mondiales," *Etudes internationales* 18:7–20.
Pauly, D., and V. Christensen. 1995. "Primary Production Required to Sustain Global Fisheries," *Nature* 374:255–7.
Payne, Roger. 1995. *Among Whales* (New York: Delta Books).
Pelekasi, Katerina, and Michalis Skourtos. 1991. "Air Pollution in Greece: An Overview," *Ekistics* 58:135–55.
———. 1992. *He Atmosphairiki rypansi stin Ellada* (Athens: Papazisi).
Peluso, Nancy Lee. 1992. *Rich Forests, Poor People: Resource Control and Resistance in Java* (Berkeley: University of California Press).
Pepper, David. 1996. *Modern Environmentalism* (London: Routledge).
Peterson, D. J. 1993. *Troubled Lands: The Legacy of Soviet Environmental Destruction* (Boulder: Westview).
Petts, Geoff. 1990a. "Forested River Corridors: A Lost Resource." In: Denis Cosgrove and Geoff Petts, eds., *Water, Engineering and Landscape* (London: Belhaven), 12–34.
Petts, Geoff. 1990b. "Water, Engineering and Landscape: Development, Protection and Restoration." In: Denis Cosgrove and Geoff Petts, eds., *Water, Engineering and Landscape* (London: Belhaven), 188–208.
Pfister, Christian, ed. 1995. *Das 1950er Syndrom: Das Weg in die Konsumgesellschaft* (Bern: Verlag Paul Haupt).
Phillips, Steven. 1994. *The Soil Conservation Service Responds to the 1993 Midwest Floods* (Washington: USDA Soil Conservation Service).
Pichón, Francisco J. 1992. "Agricultural Settlement and Ecological Crisis in the Ecuadorian Amazon Frontier," *Policy Studies Journal* 20:662–678.
Pick, James B., and Edgar W. Butler. 1997. *Mexico Megacity* (Boulder: Westview).
Pilkey, Orrin, and Katharine Dixon. 1996. *The Corps and the Shore* (Washington: Island Press).
Pimentel, David, ed. 1993. *World Soil Erosion and Conservation* (Cambridge: Cambridge University Press).
Pimentel, David, and G. H. Heichel. 1991. "Energy Efficiency and Sustainability of Farming Systems." In: R. Lal and F. J. Pierce, eds., *Soil Management for Sustainability* (Ankeny, Iowa: Soil and Water Conservation Society), 113–24.
Pimentel, David, and Hugh Lehman, eds. 1993. *The Pesticide Question: Environment, Economics, and Ethics* (New York: Chapman & Hall).
Pimentel, David, et al. 1993. "Soil Erosion and Agricultural Productivity." In: Pimentel, ed., *World Soil Erosion and Conservation* (Cambridge: Cambridge University Press), 277–92.
Pimentel, David, et al. 1995. "Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits," *Science* 267:1117–23.
Pineo, Ronn F. 1996. *Social and Economic Reform in Ecuador: Life and Work in Guayaquil* (Gainesville: University Press of Florida).
Pineo, Ronn F., and James A. Baer, eds. 1998. *Cities of Hope: People, Protests, and Progress in Urbanizing Latin America, 1870–1930* (Boulder: Westview).
Pinon, Pierre, and Stephane Yerasimos. 1994. "Istanbul, acquedoti, cisterne, fontane e dighe," *Rassegna* 57:54–9.
Planhol, X. de. 1969. "Le déboisement de l'Iran," *Annales de géographie* 73:625–35.
Platt, Harold A. 1991. *The Electric City: Energy and the Growth of the Chicago Area, 1880–1930* (Chicago: University of Chicago Press).
———. 1995. "Invisible Gases: Smoke, Gender and the Redefinition of Environmental Policy in Chicago, 1900–1920," *Planning Perspectives* 10:67–97.
Pletcher, Jim. 1991. "Ecological Deterioration and Agricultural Stagnation in Eastern Province, Zambia," *Centennial Review* 35:369–388.

Polyakov, Alexei, and Igor Ushkalov. 1995. "Migrations in Socialist and Post-Socialist Russia." In: Robin Cohen, ed., *The Cambridge Survey of World Migration* (Cambridge: Cambridge University Press), 490–95.

Pomeranz, Kenneth. 1993. *The Making of a Hinterland: State, Society and Economy in Inland North China, 1853–1937* (Berkeley: University of California Press).

Ponting, Clive. 1991. *A Green History of the World* (New York: Penguin).

Population Reference Bureau. 1996. *Population Data Sheet* (Washington: PRB).

Por, Francis Dov. 1978. *Lessepsian Migration: The Influx of Red Sea Biota into the Mediterranean by Way of the Suez Canal* (Berlin: Springer-Verlag).

———. 1990. "Lessepsian Migration: An Appraisal and New Data," *Bulletin de l'Institut Océanographique de Monaco,* special no. 7:1–7.

Porter, Roger. 1997. *The Greatest Benefit to Mankind: A Medical History of Humanity from Antiquity to the Present* (London: HarperCollins).

Postel, Sandra. 1992. *Last Oasis* (New York: Norton).

———. 1996. "Forging a Sustainable Water Strategy." In: Lester Brown et al., *State of the World 1996* (Washington: Worldwatch Institute).

———. 1999. *Pillar of Sand: Can the Irrigation Miracle Last?* (New York: Norton).

Postel, Sandra, Gretchen Daily, and Paul Ehrlich. 1996. "Human Appropriation of Renewable Fresh Water," *Science* 271:785–88.

Potter, Lesley. 1996. "Forestry in Contemporary Indonesia." In: J. T. Lindblad, ed., *Historical Foundations of a National Economy in Indonesia, 1890s–1990s* (Amsterdam: Royal Netherlands Academy of Sciences), 369–84.

Powell, R. J., and L. M. Wharton. 1982. "Development of the Canadian Clean Air Act," *Journal of the Air Pollution Control Association* 32(1):62–5.

Prager, Herman. 1993. *Global Marine Environment* (Lanham: University Press of America).

Precoda, Norman. 1991. "Requiem for the Aral Sea," *Ambio* 20(3–4):109–114.

Price, Marie. 1994. "Ecopolitics and Environmental Nongovernmental Organizations in Latin America," *Geographical Journal* (U.K.) 84:42–59.

Prince, Hugh. 1997. *Wetlands of the American Midwest* (Chicago: University of Chicago Press).

Prochaska, David. 1986. "Fire on the Mountain: Resisting Colonialism in Algeria." In: D. Crummey, ed., *Banditry, Rebellion and Social Protest in Africa* (London: James Currey)

Quine, Maria Sophia. 1996. *Population Politics in Twentieth-Century Europe* (London: Routledge).

Quinn, M.-L. 1988. "Tennessee's Copper Basin: A Case for Preserving an Abused Landscape," *Journal of Soil and Water Conservation* 43:140–44.

———. 1989. "Early Smelter Sites: A Neglected Chapter in the History and Geography of Acid Rain in the United States," *Atmospheric Environment* 23:1281–92.

Rackham, Oliver, and Jennifer Moody. 1996. *The Making of the Cretan Landscape* (Manchester: Manchester University Press).

Raghavan, G. S. D. V., P. Alvo, and E. McKyes. 1990. "Soil Compaction in Agriculture: A View toward Managing the Problem," *Advances in Soil Sciences* 11:1–36.

Randrianarijaona, Philemon. 1983. "The Erosion of Madagascar," *Ambio* 12:308–11.

Ranger, Terence. 1992. "Plagues of Beasts and Men: Prophetic Responses to Epidemic in Eastern and Southern Africa." In: Terence Ranger and Paul Slack, eds., *Epidemics and Ideas* (Cambridge: Cambridge University Press), 241–68.

Rao, Radhakrishna. 1989. "Water Scarcity Haunts World's Wettest Place," *Ambio* 18(5):300.
Raskin, P. D. 1995. "Methods for Estimating the Population Contribution to Environmental Change," *Ecological Economics* (Netherlands) 15:225–33.
Rasmussen, Wayne. 1982. "The Mechanization of Agriculture," *Scientific American* 247(2):67–75.
Ravenstijn, Wim. 1997. *De zegenrijke heren der wateren: Irrigatie en staat op Java, 1832–1942* (Delft: Delft University Press).
Raviglione, Mario, Dixie E. Snider, and Arata Kocki. 1995. "Global Epidemiology of Tuberculosis," *Journal of the American Medical Association* 273:220–6.
Reddy, Amulya K. N., and José Goldemberg. 1991. "Energy for the Developing World." In: *Energy for Planet Earth: Readings from Scientific American Magazine* (New York: Freeman), 58–71.
Redford, Kent. 1992. "The Empty Forest," *BioScience* 42:412–22.
Rees, William E. 1992. "Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: What Urban Economics Leaves Out," *Environment and Urbanization* 4:121–30.
Regier, Henry A., and John L. Goodier. 1992. "Irruption of Sea Lamprey in the Upper Great Lakes." In: Michael H. Glantz, ed., *Climate Variability, Climate Change and Fisheries* (New York: Cambridge University Press), 192–212.
Reihelt, Günther. 1986. *Lasst den Rhein leben* (Düsseldorf: Girardet).
Reij, Chris, Ian Scoones, and Camilla Toulmin, eds. 1996. *Indigenous Soil and Water Conservation in Africa* (London: Earthscan).
Reinhard, Marcel, André Armengaud, and Jacques Dupâquier. 1968. *Histoire générale de la population mondiale* (Paris: Editions Montchrestien).
Relph, E. C. 1987. *The Modern Urban Landscape: 1880 to the Present* (Baltimore: Johns Hopkins University Press).
Ren, M., and X. Zhu. 1994. "Anthropogenic Influences on Changes in the Sediment Load of the Yellow River, China, during the Holocene," *Holocene* 4(3):314–20.
Ren, Mei-e, and Jesse Walker. 1998. "Environmental Consequences of Human Activity on the Yellow River Delta, China," *Physical Geography* 19(5):421–32.
Repetto, R. 1986. "Soil Loss and Population Pressure on Java," *Ambio* 15:14–18.
Repetto, R., and Thomas Holmes. 1983. "The Role of Population in Resource Depletion in Developing Countries," *Population and Development Review* 9:609–32.
Restrepo, Ivan, ed. 1992. *La contaminación atmosférica en México* (Mexico City: Comisión Nacional de Derechos Humanos).
ReVelle, Penelope, and Charles ReVelle. 1992. *The Global Environment: Securing a Sustainable Future* (Boston: Jones & Bartlett).
Rich, Bruce. 1994. *Mortgaging the Earth: The World Bank, Environmental Impoverishment, and the Crisis of Development* (Boston: Beacon Press).
Richards, J. F. 1990a. "Agricultural Impacts in Tropical Wetlands: Rice Paddies for Mangroves in South and Southeast Asia." In: M. Williams, ed., *Wetlands: A Threatened Landscape* (Oxford: Basil Blackwell), 217–33.
———. 1990b. "Land Transformation." In: B. L. Turner et al., eds., *The Earth as Transformed by Human Action* (New York: Cambridge University Press), 163–78.
Richards, J. F., and Elizabeth P. Flint. 1990. "Long-Term Transformations in the Sundarbans Wetlands Forests of Bengal," *Agriculture and Human Values* 7:17–33.
Ripley, Earle A., Robert E. Redmann and Adele A. Crowder. 1996. *Environmental Effects of Mining* (Delray Beach, Fl.: St. Lucie Press).
RIVM [Rijkinstituut voor Volksgezondheid en Milieu] 1997. *A Hundred Year (1890–1990)*

Database for Integrated Environmental Assessments, C. G. M. Klein Goldewijk and J. J. Battjes, eds. (Bilthoven: RIVM).
RIVM/UNEP. [RIVM and U.N. Environment Programme]. 1997. *The Future of the Global Environment*, A. J. Bakkes and J. W. van Woerden., eds. (Bilthoven: RIVM).
Roberts, Bryan. 1994. "Urbanization and the Environment in Developing Countries." In: Lourdes Arizpe, M. Priscilla Stone, and David Major, eds., *Population and Environment: Rethinking the Debate* (Boulder: Westview), 303–36.
Roberts, Neil. 1989. *The Holocene: An Environmental History* (Oxford: Basil Blackwell).
Robertson, C. J. 1938. "Agricultural Regions of the North Italian Plain," *Geographical Review* (U.S.) 28:573–96.
Rodhe, Henning. 1989. "Acidification in a Global Perspective," *Ambio* 18:155–60.
Rodhe, H., et al. 1995. "Global Scale Transport of Acidifying Compounds," *Water, Air and Soil Pollution* 85:37–50.
Rollins, William H. 1997. *A Greener Vision of Home: Cultural Politics and Environmental Reform in the German Heimatschutz Movement, 1904–1918* (Ann Arbor: University of Michigan Press).
Romero Lankao, Patricia. 1999. *Obra hidráulica de la ciudad de México y su impacto socioambiental (1880–1990)* (Mexico City: Instituto Mora).
Rosen, Christine M. 1995. "Businessmen against Pollution in Nineteenth-Century Chicago," *Business History Review* 69:351–97.
Rosenzweig, Cynthia, and Daniel Hillel. 1995. "Potential Impacts of Climate Change on Agriculture and Food Supply," *Consequences* (U.S.) 1(2):22–32.
Rosner, David, and Gerald Markowitz. 1985. "A 'Gift from God'? The Public Health Controversy over Leaded Gasoline during the 1920s," *Journal of Public Health Policy* 75:344–52.
Rothman, Hal K. 1998. *The Greening of a Nation* (Fort Worth: Harcourt Brace).
Rothschild, Brian J. 1996. "How Bountiful Are Ocean Fisheries," *Consequences* (U.S.) 2(1):14–25.
Rouse, Hunter. 1963. *History of Hydraulics* (New York: Dover Press).
Rozanov, Boris G., Viktor Targulian, and D. S. Orlov. 1990. "Soils." In: B. L. Turner et al., eds., *The Earth as Transformed by Human Action* (New York: Cambridge University Press), 203–14.
Ruddle, K. 1987. "The Impact of Wetland Reclamation." In: M. G. Wolman and F. G. A. Fournier, eds., *Land Transformation in Agriculture* (Chichester: Wiley), 171–201.
Ryabchikov, A. R. 1975. *The Changing Face of the Earth* (Moscow: Progress Publishers).

SADCC [South African Development Coordination Conference]. 1987. *History of Soil Conservation in the SADCC Region* (Maseru, Lesotho: SADCC Soil and Water Conservation and Land Utilization Programme).
Sadkovich, J. J. 1996. "The Indispensable Navy." In: N. A. M. Rodger, ed., *Naval Power in the Twentieth Century* (Annapolis: Naval Institute Press), 66–76.
Said, Rushdi. 1993. *The River Nile: Geology, Hydrology, and Utilization* (Oxford: Pergamon Press).
Salau, Fatai Kayode. 1996. "Nigeria." In: M. Jänicke and H. Weidner, eds., *National Environmental Policies* (Berlin: Springer-Verlag), 257–78.
Salmon, Lynn, et al. 1995. "Source Contributions to Airborne Particle Deposition at the Yungang Grottoes, China," *Science of the Total Environment* 167:33–47.

Salstein, David. 1995. "Mean Properties of the Atmosphere." In: H. B. Singh, ed., *Composition, Chemistry and Climate of the Atmosphere* (New York: Van Nostrand Reinhold), 19–49.
Santiago, Myrna. 1997. "Huasteca Crude: Indians, Ecology and Labor in the Mexican Oil Industry, Northern Veracruz, 1900–1938" (Ph.D dissertation, University of California, Berkeley).
———. 1998. "Rejecting Progress in Paradise: Huastecs, the Environment, and the Oil Industry in Veracruz, Mexico, 1900–1935," *Environmental History* 3:169–88.
Satake, Ken'ichi, Atushi Tanaka, and Katsuhiko Kimura. 1996. "Accumulation of Lead in Tree Trunk Bark Pockets as Pollution Time Capsules," *Science of the Total Environment* 181:25–30.
Savchenko, V. K. 1995. *The Ecology of the Chernobyl Disaster* (Paris: UNESCO).
Scheraga, J. D. 1986. "Pollution in Space: An Economic Perspective," *Ambio* 15(5):358–60.
Schlager, Neil. 1994. *When Technology Fails* (Detroit: Gale Research).
Schröder, R. 1987. "Decline of Swamps in Lake Constance," *Symposia Biologica Hungarica* 19:43–8.
Schulze, R. H. 1993. "The 20-Year History of the Evolution of Air Pollution Control Legislation in the United States," *Atmospheric Environment* 27B(1):15–22.
Schurr, S. H. 1984. "Energy Use, Technical Change and Productive Efficiency: An Economic-Historical Interpretation," *Annual Review of Energy and the Environment* 9:409–25.
Schwarz, Harry E., Jacque Emel, W. J. Dickens, Peter Rogers, and John Thompson. 1990. "Water Quality and Flows." In: B. L. Turner et al., eds., *The Earth as Transformed by Human Action* (New York: Cambridge University Press), 253–70.
Shaler, Nathaniel Southgate. 1905. *Man and the Earth* (New York: Fox, Duffield).
Shao, John. 1986. "The Villagization Program and the Disruption of Ecological Balance in Tanzania," *Canadian Journal of African Studies* 20:219–39.
Sharma, Rita, and Thomas T. Poleman, eds. 1993. *The New Economics of India's Green Revolution: Income and Employment Diffusion in Uttar Pradesh* (Ithaca: Cornell University Press).
Shaw, Glenn. 1995. "The Arctic Haze Phenomenon," *Bulletin of the American Meteorological Society* 76:2403–13.
Shcherbak, Yuri M. 1996. "Ten Years of the Chornobyl Era," *Scientific American* 274(4):44–9.
Sheail, John. 1997. "The Sustainable Management of Industrial Watercourses: An English Historical Perspective," *Environmental History* 2:197–215.
Shen, Tun-Li, P.J. Woolridge, and M. J. Molina. 1995. "Stratospheric Pollution and Ozone Depletion." In: B. H. Singh, ed., *Composition, Chemistry and Climate of the Atmosophere* (New York: Van Nostrand), 394–442.
Shen, Xiao-ming, et al. 1996. "Childhood Lead Poisoning in China," *Science of the Total Environment* 181:101–9.
Sherlock, R. L. 1931. *Man's Influence on the Earth* (London: T. Butterworth).
Shiklomanov, I. A. 1990. "Global Water Resources," *Nature and Resources (English Edition)* 26(3):34–43.
———. 1993. "World Fresh Water Resources." In: Peter Gleick, ed., *Water in Crisis* (New York: Oxford University Press), 13–24.
Shiva, Vandana. 1991a. *Ecology and the Politics of Survival* (New Delhi: U.N. University Press).
———. 1991b. *The Violence of the Green Revolution* (London: Zed Books).
Shoji, Kichiro, and Masuro Sugai. 1992. "The Ashio Copper Mine Pollution Case: The Origins of Environmental Destruction." In: Jun Ui, ed., *Industrial Pollution in Japan* (Tokyo: U.N. University Press), 18–64.
Shope, Robert, and Alfred S. Evans. 1993. "Assessing Geographic and Transport Factors, and Recognition of New Viruses." In: Stephen S. Morse, ed., *Emerging Viruses* (New York: Oxford University Press, 1993), 109–19.

Showers, Kate. 1989. "Soil Erosion in the Kingdom of Lesotho: Origins and Colonial Response, 1830s–1950s," *Journal of Southern African Studies* 15(2):263–86.
Showers, Kate, and Gwendolyn M. Malahlela. 1992. "Oral Evidence in Historical Environmental Impact Assessment: Soil Conservation in Lesotho in the 1930s and 1940s," *Journal of Southern African Studies* 18:276–98.
Sievert, James. 1996. "Construction and Destruction of Nature in Italy, 1860–1914" (Ph.D. dissertation, University of California, Santa Cruz).
Sifakis, Nicholas T. 1991. "Air Pollution in Athens: Similarities of Findings with Remote Sensing Methods in 1967 and 1987," *Ekistics* 58:164–66.
Sikiotis, D., and P. Kirkitsos. 1995. "The Adverse Effects of Nitrates on Stone Monuments," *Science of the Total Environment* 171:173–82.
Silversides, Ross C. 1997. *Broadaxe to Flying Shear: The Mechanization of Forest Harvesting East of the Rockies* (Ottawa: National Museum of Science and Technology).
Simberloff, Daniel. 1996. "Impacts of Introduced Species in the United States," *Consequences* (U.S.) 2(2):13–22.
Simmons, Jack, and Gordon Biddle, eds. 1997. *Oxford Companion to British Railway History* (Oxford: Oxford University Press).
Simon, Joel. 1997. *Endangered Mexico: An Environment on the Edge* (San Francisco: Sierra Club Books).
Simonian, Lane. 1995. *Defending the Jaguar: A History of Conservation in Mexico* (Austin: University of Texas Press).
Singh, B. H., ed. 1995. *Composition, Chemistry, and Climate of the Atmosphere* (New York: Van Nostrand Reinhold).
Sit, Victor F. S. 1995. *Beijing: The Nature and Planning of a Chinese Capital City* (Chichester: Wiley).
Smil, Vaclav. 1984. *The Bad Earth: Environmental Degradation in China* (Armonk: M. E. Sharpe).
———. 1990. "Nitrogen and Phosphorus." In: B. L. Turner et al., eds., *The Earth as Transformed by Human Action* (New York: Cambridge University Press), 423–36.
———. 1993. *China's Environmental Crisis* (Armonk and London: M. E. Sharpe).
———. 1994. *Energy in World History* (Boulder: Westview).
Smith, Bernard, and Clark Baillie. 1985. "Erosion in the Savannas," *Geographical Magazine* 57(3):137–43.
Smith, David. 1995. "Kazakhstan." In: Philip R. Pryde, ed., *Environmental Resources and Constraints in the Former Soviet Republics* (Boulder: Westview), 251–74.
Snyder, Lynne Page. 1994. " 'The Death-dealing Smog over Donora, Pennsylvania': Industrial Air Pollution, Public Health Policy, and the Politics of Expertise, 1948–1949," *Environmental History Review* 18:117–133.
Sobolev, S. S. 1947. "Protecting the Soils of the USSR," *Journal of Soil and Water Conservation* 2:123–32.
Society for General Microbiology. 1995. *Fifty Years of Antimicrobials* (New York: Cambridge University Press).
Solbrig, Otto, and Dorothy Solbrig. 1994. *So Shall You Reap: Farming and Crops in Human Affairs* (Washington: Island Press).
Solomon, Susan Gross, and John F. Hutchinson, eds. 1990. *Health and Society in Revolutionary Russia* (Bloomington: Indiana University Press).
Sonnenfeld, David A. 1992. "Mexico's 'Green Revolution' 1940–1980: Toward an Environmental History," *Environmental History Review* 16(4):28–52.

Sørensen, Bent. 1995. "History of, and Recent Progress in, Wind-Energy Utilization," *Annual Review of Energy and the Environment* 20:387–424.
Sorocos, Eustache P. 1985. *La morphologie social du Pirée à travers son évolution* (Athens: National Social Research Centre).
Sparks, D. L. 1984. Namibia's Coastal and Marine Development Potential," *African Affairs* 83:477–96.
Speer, Lisa, et al. 1997. *Hook, Line, and Sinking: The Crisis in Marine Fisheries* (New York: Natural Resources Defense Council).
Spelsberg, Gerd. 1984. *Rauchplage: Hundert Jahre Saurer Regen* (Aachen: Alano Verlag).
Spielman, Andrew. 1994. "The Emergence of Lyme Disease and Human Babesiosis in a Changing Environment." In: Mary E. Wilson, Richard Levins, and Andrew Spielman, eds., *Disease in Evolution* (New York: Annals of the New York Academy of Sciences, vol. 740), 146–56.
Spinage, C. A. 1962. "Rinderpest and Faunal Distribution Patterns," *African Wildlife* 16:55–60.
Sreenivasan, A. 1991. "Transfers of Freshwater Fishes into India." In: P. S. Ramakrishnan, ed., *Ecology of Biological Invasion in the Tropics* (New Delhi: International Scientific Publishers), 131–8.
Srinanda, K. V. 1984. "Air Pollution Control and Air Quality Management in Malaysia," *Kaijan Malaysia* 2:67–91.
Stanley, D. J. 1996. "Nile Delta: Extreme Case of Sediment Entrapment on a Delta Plain and Consequent Coastal Land Loss," *Marine Geology* 129:189–95.
———. 1997. "Degradation of the Nile Delta," *Environmental Review* 4(10):1–7.
Stanley, D. J., and A. G. Warne. 1993. "Nile Delta: Recent Geological Evolution and Human Impact," *Science* 260:628–34.
Stanners, David, and Philippe Bourdeau. 1995. *Europe's Environment: The Dobříš Assessment* (Copenhagen: European Environment Agency).
Stanton, B. F. 1998. "Agriculture." In: Richard W. Bulliet, ed., *The Columbia History of the 20th Century* (New York: Columbia University Press), 345–80.
Stark, Malcolm. 1987. "Soil Erosion Out of Control in Southern Alberta," *Canadian Geographic* 107 (June–July):16–25.
Starr, Chauncey. 1990. "Implications of Continuing Electrification." In: John L. Helms, ed., *Energy: Production, Consumption, and Consequences* (Washington: National Academy Press), 52–71.
———. 1996. "Sustaining the Human Environment: The Next 200 Years," *Daedalus* (U.S.) 125(3):235–53.
St. Clair, David J. 1986. *The Motorization of American Cities* (Westport: Praeger).
Stebelsky, Ihor. 1989. "Soil Management in Ukraine: Responding to Environmental Degradation," *Canadian Slavonic Papers/Revue Canadienne des Slavistes* 31(3–4):247–66.
Stern, A. C. 1982. "History of Air Pollution Legislation in the United States," *Journal of the Air Pollution Control Association* 32(1):44–61.
Stern, David I., and Robert K. Kaufman. 1996. "Estimates of Global Anthropogenic Methane Emissions, 1860–1993," *Chemosphere* 33:159–76.
Stevis, Dimitris. 1993. "Political Ecology in the Semi-Periphery: Lessons from Greece," *International Journal of Urban and Regional Research* 17:85–97.
Stewart, John Massey. 1992. *The Nature of Russia* (New York: Cross River Press).
Stocking, Michael. 1985. "Soil Conservation Policy in Colonial Africa." In: Douglas Helms and Susan Flader, eds., *The History of Soil and Water Conservation* (Washington: Agricultural History Society), 46–59.
Stoett, Peter J. 1997. *The International Politics of Whaling* (Vancouver: University of British Columbia Press).

Stolberg, Michael. 1994. *Ein Recht auf saubere Luft? Umweltkonflikte am Beginn des Industriezeitalters* (Erlangen: Fischer Verlag).
Stout, Glen, and William Ackermann. 1987. "Past and Future Water Systems for Chicago." In: W. O. Wunderlich and J. E. Prins, eds., *Water for the Future* (Rotterdam: Balkema), 201–10.
Stradling, David. 1996. "Civilized Air: Coal Smoke and Environmentalism in America, 1880–1920" (Ph.D. dissertation, University of Wisconsin).
Stradling, David, and Peter Thorsheim. 1999. "The Smoke of Great Cities: British and American Efforts to Control Air Pollution, 1860–1914," *Environmental History* 4:6–31.
Sundaramoorthy, S., R. Kannapan, E. Vedagiri, and J. Upton. 1991. "Experiences in Sewage Treatment in Madras, India." In: M. D. F. Haigh and C. P. James, eds., *Water and Environmental Management: Design and Construction of Works* (New York: Ellis Norwood), 453–65.
Sykora, K. V. 1990. "History of the Impact of Man on the Distribution of Plant Species." In: F. di Castri, A. J. Hansen, and M. Debussche, eds., *Biological Invasions in Europe and the Mediterranean Basin* (Dordrecht: Kluwer Academic), 37–50.

Tam, On Kit. 1985. *China's Agricultural Modernization: The Socialist Mechanization Scheme* (Beckenham: Croom Helm).
Tarr, Joel A. 1996. *The Search for the Ultimate Sink: Urban Pollution in Historical Perspective* (Akron: University of Akron Press).
Tarr, Joel A., and Carl Zimring. 1997. "The Struggle for Smoke Control in St. Louis." In: Andrew Hurley, ed., *Common Fields: An Environmental History of St. Louis* (St. Louis: Missouri Historical Society Press), 199–220.
Teich, Mikulas, Roy Porter, and Bo Gustaffson, eds., 1997. *Nature and Society in Historical Context* (Cambridge: Cambridge University Press).
Tenner, Edward. 1996. *Why Things Bite Back: Technology and the Revenge of Unintended Consequences* (New York: Knopf).
Tersch, F. 1987. "Austria." In: E. G. Richards, ed., *Forestry and the Forest Industries: Past and Future* (Dordrecht: Martinus Nijhoff), 214–225.
Thandi, Shinder Singh. 1994. "Strengthening Capitalist Agriculture: The Impact of Overseas Remittances in Rural Central Punjab in the 1970s," *International Journal of Punjab Studies* 1:239–70.
Thellung, A. 1915. "Pflanzwanderungen unter dem Einfluss des Menschen," *Beiblat Nr. 116 zu den Botanischen Jahrbüchern* 53:37–66.
Thomas, V. M. 1995. "The Elimination of Lead in Gasoline," *Annual Review of Energy and the Environment* 20:301–24.
Thompson, Harry V., and Carolyn M. King. 1994. *The European Rabbit: The History and Biology of a Successful Colonizer* (Oxford: Oxford University Press).
Thukral, E. G. 1992. *Big Dams, Displaced People: Rivers of Sorrow, Rivers of Change* (New Delhi: Sage Publishers).
Thumerelle, Pierre-Jean. 1996. *Les populations du monde* (Paris: Editions Nathan).
Tiffen, Mary, Michael Mortimore, and Francis Gichuki. 1994. *More People, Less Erosion: Environmental Recovery in Kenya* (New York: Wiley).
Tolba, Mostafa K., and Osama A. El-Kholy, eds. 1992. *The World Environment, 1972–1992* (London: Chapman & Hall).
Tønnessen, J. N., and A. O. Johnsen. 1982. *The History of Modern Whaling* (Berkeley: University of California Press).
Totman, Conrad. 1989. *The Green Archipelago: Forestry in Preindustrial Japan* (Berkeley: University of California Press).

Toynbee, A. J. 1965. *Hannibal's Legacy* (Oxford: Oxford University Press, 2 vols.).
———. 1972. "Religious Background of the Present Environment Crisis: A Viewpoint," *International Journal of Environmental Studies* 3:141–6, 4:157–8.
Trafas, Kazimierz. 1991. *Luftverschmutzung in Südpolen* (Vienna: Österreichisches Ost- und Südeuropa-Institut).
Travis, J. 1993. "Invader Threatens Black, Azov Seas," *Science* 262:1366–7.
Treadgold, Donald W. 1957. *The Great Siberian Migration* (Princeton: Princeton University Press).
Trefil, James. 1994. *A Scientist in the City* (New York: Doubleday).
Trimble, Stanley W. 1985. "Perspectives on the History of Soil Erosion Control in the Eastern United States," *Agricultural History* 59:162–180.
Troadec, Jean-Paul. 1989. "The Mutation of World Fisheries." In: Edward L. Miles, ed., *Management of World Fisheries* (Seattle: University of Washington Press), 1–18.
Trudgill, S. T., et al. 1990. "Rates of Stone Loss at St. Paul's Cathedral, London," *Atmospheric Environment* 24B:361–3.
Tsuru, Shigeto. 1989. "History of Pollution Control Policy." In: S. Tsuru and Helmut Weidmer, eds., *Environmental Policy in Japan* (Berlin: Sigma), 15–42.
———. 1993. *Japan's Capitalism: Creative Defeat and Beyond* (Cambridge: Cambridge University Press).
Tuan, Yi-fu. 1968. "Discrepancies between Environmental Attitude and Behaviour: Examples from Europe and China," *Canadian Geographer* 3:175–91.
Tucker, Richard P. (forthcoming). *An Embarassment of Riches: The United States and the Ecological History of the Tropical World* (Berkeley: University of California Press).
Tuncel, Semra, and Sevgi Ungör. 1996. "Rain Water Chemistry in Ankara, Turkey," *Atmospheric Environment* 30:2721–27.
Tuncer, G. T., S. G. Tuncel, G. Tuncel, and T. I. Balkas. 1993. "Metal Pollution in the Golden Horn, Turkey: Contribution of Natural and Anthropogenic Components since 1913," *Water Science and Technology* 28:59–64.
Turco, Richard P. 1997. *Earth under Siege: From Air Pollution to Global Change* (Oxford: Oxford University Press).
Türkiye Çevre Sorunları Vakfı 1991. *Türkiye'nin Çevre Sorunları* (Ankara: Türkiye Çevre Sorunları Vakfı).
Turner, R. E., and N. N. Rabalais. 1991. "Changes in Mississippi River Quality This Century: Implications for Coastal Food Webs," *BioScience* 41(3):140–7.
Turner, B. L. et al., eds. 1990. *The Earth as Transformed by Human Action* (New York: Cambridge University Press).
Twain, Mark. 1899. *Following the Equator* (New York: Harper & Brothers, 2 vols.).

Ui, Jun., ed. 1992a. *Industrial Pollution in Japan* (Tokyo: U.N. University Press).
———. 1992b. "Minimata Disease." In Jun Ui, ed., *Industrial Pollution in Japan* (Tokyo: U.N. University Press), 103–32.
U.N. Economic Commission for Europe. 1992. *Impacts of Long-Range Transboundary Air Pollution* (New York: United Nations).
UNEP [U.N. Environment Programme]. 1997. *Global Environment Outlook* (New York: Oxford University Press).
UNFAO [U.N. Food and Agriculture Organization]. 1997. *The State of World Fisheries and Agriculture* (Rome: UNFAO).

U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines. 1995. *Minerals Yearbook. Vol. III* (Washington: U.S. Government Printing Office).

USDOE [U.S. Department of Energy]. 1995. *Estimating the Cold War Mortgage* (Washington: USDOE).

USEPA [U.S. Environmental Protection Agency]. 1995. *National Air Pollutant Emission Trends, 1900–1994* (Research Triangle Park, N.C.: USEPA).

U.S. Global Change Research Program. 1998. *Our Changing Planet* (Washington: USGCRP).

USOTA [U.S. Office of Technology Assessment]. 1993. *Harmful Non-Indigenous Species in the United States* (Washington: USOTA).

Vance, James E. 1990. *The Continuing City: Urban Morphology in Western Civilization* (Baltimore: Johns Hopkins University Press).

van den Bosch, Robert, P. S. Messenger, and A. P. Gutierrez. 1982. *An Introduction to Biological Control* (New York: Plenum Press).

Van der Weijden, C. H., and J. J. Middleburg. 1989. "Hydrogeochemistry of the River Rhine: Long Term and Seasonal Variability, Elemental Budgets, Base Levels, and Pollution," *Water Research* 23:1247–66.

van Lier, H. N. 1991. "Historical Land Use Changes: The Netherlands." In: F. M. Brouwer, A. J. Thomas, and M. J. Chadwick, eds., *Land Use Changes in Europe* (Dordrecht: Kluwer Academic), 379–402.

Van Urk, G. 1984. "Lower Rhine-Meuse." In: B. A. Whitton, ed., *Ecology of European Rivers* (Oxford: Blackwell Scientific), 437–68.

Varady, Robert G. 1989. "Land Use and Environmental Change in the Gangetic Plain: Nineteenth-Century Human Activity in the Banaras Region." In: Sandra Freitag, ed., *Culture and Power in Banaras: Community, Performance, and Environment, 1880–1980* (Berkeley: University of California Press), 229–45.

Vasey, Daniel E. 1992. *An Ecological History of Agriculture, 10,000 B.C.–A.D.* 10,000 *(Ames: Iowa State University Press).*

Vassilopoulos, M., and M. Nikopoulou-Tamvakli. 1993. "Greek Mediterranean Environment." In: F. B. de Walle, M. Nikopoulou-Tamvakli, and W. J. Heinen, eds., *Environmental Condition of the Mediterranean Sea* (Dordrecht: Kluwer Academic), 425–501.

Vendrov, S. L., and A. B. Avakyan. 1977. "The Volga River." In: Gilbert F. White, ed., *Environ-mental Effects of Complex River Development* (Boulder: Westview Press), 23–38.

Vennetier, Pierre. 1988. "Cadre de vie urbain et problèmes de l'eau en Afrique noire," *Annales de géographie* 92:171–94.

Vesely, J., et al. 1993. "The History and Impact of Air Pollution at Certovo Lake, Southwestern Czech Republic," *Journal of Paleolimnology* 8:211–31.

Vileisis, Ann. 1997. *Discovering the Unknown Landscape: A History of American Wetlands* (Washington: Island Press).

Villalba, Bruno. 1997. "La genèse inachevée des Verts," *Vingtième siècle* 53:85–97.

Viras, L. G., A. G. Paliatsos, A. G. Fotopoulos. 1995. "Nine-Year Trend of Air Pollution by CO in Athens, Greece," *Environmental Monitoring and Assessment* 40:203–14.

Vitale, Luís. 1983. *Hacia una historia del ambiente en América Latina* (Caracas: Nueva Sociedad).

Vitousek, P. M., P. R. Ehrlich, A. R. Ehrlich, P. A. Matson. 1986. "Human Appropriation of the Products of Photosynthesis," *BioScience* 36:368–73.

Vitousek, P. M., C. M. D'Antonio, L. L. Loope, and R. Westbrooks. 1996. "Biological Invasions as Global Environmental Change," *American Scientist* 84:468–78.

Vizcaíno Murray, Francisco. 1975. *La contaminación en México* (Mexico City: Fondo de Cultura Económica).

Vizcarra Andreu, M. A. 1989. "A Case of a Quarter Century's SO_2 Pollution." In: L. J. Brasser and W. C. Mulder, eds., *Man and His Ecosystem. Proceedings of the 8th World Clean Air Congress* (The Hague: Elsevier), 25–30.

Volin, Lazar. 1970. *A Century of Russian Agriculture* (Cambridge: Harvard University Press).

von Broembsen, Sharon L. 1989. "Invasions of Natural Ecosystems by Plant Pathogens." In: J. A. Drake et al., eds., *Biological Invasions: A Global Perspective* (Chichester: Wiley), 77–83.

von Maydell, H.-Z., and H. Ollmann. 1987. "Federal Republic of Germany." In: E. G. Richards, ed., *Forestry and the Forest Industries: Past and Future* (Dordrecht: Martinus Nijhoff), 152–64.

Votruba, Ladislav. 1993. "K Dějinám Péče o Přírodu," *Dějiny věd a Techniky (Prague) 26:1–6.*

Wade, Robert. 1997. "Greening the Bank: The Struggle over the Environment, 1970–1995." In: John Lewis, Richard Webb, and Devesh Kapur, eds., *The World Bank: Its First Half Century* (Washington: Brookings Institution, 2 vols.), 2:611–734.

Walker, Jesse. 1990. "The Coastal Zone." In: B. L. Turner et al., eds., *The Earth as Transformed by Human Action* (New York: Cambridge University Press), 271–94.

Walker, H. J. 1984. "Man's Impact on Shorelines and Nearshore Environments: A Geomorphological Perspective," *Geoforum* 15:395–417.

Waller, Richard D. 1990. "Tsetse Fly in Western Narok, Kenya," *Journal of African History* 31:81–101.

Walsh, James. 1992. "Adoption and Diffusion Processes in the Mechanisation of Irish Agriculture," *Irish Geography* 25:33–53.

Walsh, Michael. 1990. "Global Trends in Motor Vehicle Use and Emissions," *Annual Review of Energy and the Environment* 15:217–43.

Walter, François. 1989. "Attitudes towards the Environment in Switzerland, 1880–1914," *Journal of Historical Geography* 15:287–299.

Waterbury, John. 1979. *Hydropolitics of the Nile* (Syracuse: Syracuse University Press).

Watts, Susan, and Samiha El Katsha. 1997. "Irrigation, Farming and Schistosomiasis: A Case Study in the Nile Delta," *International Journal of Environmental Health Research* 7:101–13.

WCED [World Commission on Environment and Development]. 1987. *Our Common Future* (Oxford: Oxford University Press).

Weeber, K. W. 1990. *Smog über Attika: Umveltverhalten im Altertum* (Zurich: Artemis).

Weiner, Douglas. 1988. "The Changing Face of Soviet Conservation." In: Donald Worster, ed., *The Ends of the Earth* (New York: Cambridge University Press), 252–73.

———. 1999. *A Little Corner of Freedom: Russian Nature Protection from Stalin to Gorbachev* (Berkeley: University of California Press).

Weiss, D., B. Whitten, and D. Leddy. 1972. "Lead Content of Human Hair (1871–1971)," *Science* 178:69–70.

Wen, Dazhong. 1993. "Soil Erosion and Conservation in China." In: David Pimentel, ed., *World Soil Erosion and Conservation,* (Cambridge: Cambridge University Press), 63–86.

Wernick, Iddo K., Robert Herman, Shekhar Govind, and Jesse Ausubel. 1996. "Materialization and Dematerialization: Measures and Trends," *Daedalus* (U.S.) 125(3):171–98.

Westing, Arthur P. 1980. *Warfare in a Fragile World: Military Impact on the Human Environment* (London: Taylor & Francis).
———. 1981. "Note on How Many Humans Have Ever Lived," *BioScience* 31:523–4.
———. 1990. *Environmental Hazards of War: Releasing Dangerous Forces in an Industrialized World* (Newbury Park, Calif.: Sage Publishers).
Westoby, Jack C. 1989. *Introduction to World Forestry* (Oxford: Blackwell).
Whitcombe, Elizabeth. 1995. "The Environmental Costs of Irrigation in British India: Waterlogging, Salinity and Malaria." In: David Arnold and Ramachandra Guha, eds., *Nature, Culture, Imperialism* (Delhi: Oxford University Press), 237–59.
White, Gilbert F. 1988. "The Environmental Effects of the High Dam at Aswan," *Environment* 30(7):4–11, 34–40.
White, Lynn. 1967. "The Historical Roots of Our Ecologic Crisis," *Science* 155:1203–7.
White, Richard. 1995. *The Organic Machine* (New York: Hill & Wang).
Whitehand, J. W. R. 1987. *The Changing Face of Cities* (Oxford: Basil Blackwell).
———. 1992. *The Making of the Urban Landscape* (Oxford: Basil Blackwell).
Whitlow, J. R. 1988. "Soil Erosion—A History," *Zimbabwe Science News* 22:83–5.
WHO [World Health Organization]. 1996. *World Health Report 1996* (Geneva: WHO).
WHO/UNEP [World Health Organization and United Nations Environment Programme]. 1992. *Urban Air Pollution in the Megacities of the World* (Oxford: Basil Blackwell).
Williams, Michael. 1988. "The Death and Rebirth of the American Forest: Clearing and Reversion in the United States, 1900–1980." In: John F. Richards and Richard P. Tucker, eds., *World Deforestation in the Twentieth Century* (Durham: Duke University Press), 211–29.
———. 1990a. "Agricultural Impacts in Temperate Wetlands." In: M. Williams, ed., *Wetlands: A Threatened Landscape* (Oxford: Blackwell), 181–216.
———. 1990b. "Understanding Wetlands." In: M. Williams, ed., *Wetlands: A Threatened Landscape* (Oxford: Blackwell), 1–41.
———. 1990c. "Forests." In: B. L. Turner et al. eds., *The Earth as Transformed by Human Action* (New York: Cambridge University Press), 179–202.
———. 1994. "Forests and Tree Cover." In: W. B. Meyer and B. L. Turner, eds., *Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective* (New York: Cambridge University Press), 97–124.
Williamson, Mark. 1996. *Biological Invasions* (London: Chapman & Hall).
Wills, Christopher. 1996. *Yellow Fever, Black Goddess: The Co-Evolution of People and Plagues* (Reading, Mass.: Addison-Wesley).
Wilson, Edward O. 1992. *The Diversity of Life* (Cambridge: Harvard University Press).
Wilson, John P., and Christine Ryan. 1988. "Landscape Change in the Lake Simcoe-Couchiching Basin, 1800–1983," *Canadian Geographer/Géographe Canadien* 32:206–22.
Wilson, Mary E., Richard Levins, and Andrew Spielman, eds. 1994. *Disease in Evolution: Global Changes and the Emergence of Infectious Diseases* (New York: N.Y. Academy of Sciences).
Winslow, Donna. 1993. "Mining and the Environment in New Caledonia: The Case of Thio." In: Michael C. Howard, ed., *Asia's Environmental Crisis* (Boulder: Westview), 111–134.
Woischnik, Alwine. 1992. *Die spanische Ökologiebewegung* (Frankfurt: Peter Lang).
Wood, Charles, and Marianne Schmink. 1993. "The Military and the Environment in the Brazilian Amazon," *Journal of Political and Military Sociology* 21:81–105.
Wood, Leslie B. 1982. *The Restoration of the Tidal Thames* (Bristol: Adam Higher).
Worster, Donald. 1977. *Nature's Economy: A History of Ecological Ideas* (San Francisco: Sierra Club Books).
———. 1979. *Dust Bowl* (New York: Oxford University Press).
———. 1985. *Rivers of Empire* (New York: Pantheon).

Worthington, E. Barton. 1983. *The Ecological Century: A Personal Appraisal* (Oxford: Clarendon Press).

WRI [World Resources Institute]. 1996. *World Resources 1996–1997* (New York: Oxford University Press).

———. 1997. *The Last Frontier Forests* (Washington: WRI).

Wunderlich, Walter O., and J. Egbert Prins, eds. 1987. *Water for the Future* (Rotterdam: Balkema).

Xu, Guohua, and L. J. Peel, eds. 1991. *The Agriculture of China* (Oxford: Oxford University Press).

Yablokov, A. V. 1995. "The Protection of Nature: Lessons and Problems from Russia," *Science of the Total Environment* 175:1–8.

Yamamoto, Tadashi, and Hajime Imanishi. 1992. "Use of Shared Stocks in the Northwest Pacific Ocean with Particular Reference to Japan and the USSR." In: J. B. Marsh, ed., *Resources and Environment in Asia's Marine Sector* (Washington: Taylor & Francis), 13–40.

Yeoh, Brenda S. A. 1993. "Urban Sanitation, Health and Water Supply in Late Nineteenth and Eartly Twentieth Century Colonial Singapore," *South East Asia Research* 2:143–172.

Yeung, Yue-man. 1997. "Geography in the Age of Mega-Cities," *International Social Science Journal* 151:91–104.

Yip, Ka-che. 1995. *Health and National Reconstruction in Nationalist China: The Development of Modern Health Services, 1928–1937* (Ann Arbor: Association for Asian Studies, Monograph and Occasional Paper Series no. 50).

Young, Ann R. M. 1996. *Environmental Change in Australia since 1788* (Melbourne: Oxford University Press).

Young, Oran, ed. 1997. *Global Governance: Drawing Insights from the Environmental Experience* (Cambridge: MIT Press).

Zaidi, I. H. 1981. "On the Ethics of Man's Interaction with the Environment: An Islamic View," *Environmental Ethics* 3:35–47.

Zemskov, V. 1991. "Kulakskaya ssylka v 30-e gody," *Sotsiologicheskie issledovaniya* 10:3–21.

Zimmerer, Karl. 1993. "Soil Erosion and Labor Shortages in the Andes with Special Reference to Bolivia 1953–91," *World Development* 21:1659–73.

Zirnstein, Gottfried. 1994. *Ökologie und Umwelt in der Geschichte* (Marburg: Metropolis-Verlag).

Zolberg, Aristide. 1997. "Global Movements, Global Walls: Responses to Migration, 1885–1925." In: Wang Gungwu, ed., *Global History and Migrations* (Boulder: Westview), 279–307.

Zon, Raphael, and William N. Sparhawk. 1923. *Forest Resources of the World* (New York: McGraw-Hill), 2 vols.

太阳底下的新鲜事
[美]约翰·R.麦克尼尔　著
李芬芳　译

电子书编辑：张畅
版权经理：王文嘉

出 品：中信联合云科技有限公司 www.yuntrust.cn
版 本：电子书
版 次：2017年7月第1版
字 数：400千字

纸书书号：978-7-5086-7252-6
出版发行：中信出版集团股份有限公司 CITIC Publishing Group

Table of Contents